كراسات علمية

سلسلة غير دورية تعنى بالإتجاهات العلمية الحديثة

فيزياء وتطبيقات

البلورات السائلة

دكتور
محمد زكى عويس

تصدرها
المكتبة الأكاديمية

المكتبة الأكاديمية

كراسات علمية

سلسلة غير دورية تصدرها المكتبة الأكاديمية تعنى بتقديم الاجتهادات العلمية الحديثة.

رئيس التحرير أ. د. أحمد شوقى   مدير التحرير أ. أحمد أمين

المراسلات: المكتبة الأكاديمية

١٢١ ش التحرير الدقى – القاهرة – ت: ٣٤٨٥٢٨٢ – فاكس: ٣٤٩١٨٩٠

فيزياء وتطبيقات

(البلورات السائلة)

فيزياء وتطبيقات
(البلورات السائلة)

د . محمد زكى عويس
أستاذ أطياف الليزر المساعد
بكلية العلوم – جامعة القاهرة

الناشر
المكتبة الأكاديمية
١٩٩٨

حقوق النشر

المكتبة الأكاديمية

١٢١ ش التحرير – الدقى – القاهرة

تليفون: ٣٤٨٥٢٨٢ / ٣٤٩١٨٩٠

فاكس: ٣٤٩١٨٩٠ – ٢٠٢.

إهداء

إلى أسرتى وأصدقائى ...

د/ محمد زكى عويس

فهرس

هذه السلسلة

تعد استجابة منطقية لما لقيته شقيقتها الكبرى «كراسات مستقبلية» التى بدأ ظهور أعدادها الأولى عام ١٩٩٧، من الترحاب والتشجيع، المقرونين بالدعوة إلى زيادة مساحة العلم فى إصدارات السلسلة إلى أقصى حد ممكن.

لقد دفعتنا هذه الدعوة إلى التفكير فى أن تفرد للموضوعات العلمية سلسلة خاصة، تستحقها، فكانت هذه السلسلة، التى تمثل تطويراً وتوسعاً فى أحد محاور «كراسات مستقبلية»، حيث ذكر فى مقدمتها ما نصه:

«الإلمام بمنجزات الثورة العلمية والتكنولوجية، التى تعد قوة الدفع الرئيسية فى تشكيل العالم، مع استيعاب تفاعلها مع الجديد فى العلوم الاجتماعية والإنسانية، من منطلق الإيمان بوحدة المعرفة».

ومن ملامح هذه السلسلة:

المحافظة – على شكل المقال التفصيلى الطويل (Monagraph) الذى تتميز به الكراسات عادة.

– الحرص على تقديم الإتجاهات والأفكار العلمية الجديدة، بجانب تقديم المعارف الخاصة بمختلف المجالات الحديثة، بشكل يسمح للقارىء «المتعلم غير المتخصص»، الذى يمثل القارىء المستهدف للكراسات، بالقدر الكافى من الإلمام والقدرة على المتابعة.

– وفى تقديمها للإتجاهات والمعارف العلمية الحديثة، لن تتبنى الكراسات الشكل النمطى لتبسيط العلوم، الذى يستهدف النجاح فى إضافة كمية – قلت أو كثرت – لبعض المعارف العلمية – إلى ثقافة المتلقى – إننا لا نتعامل هنا مع العلم كإضافة، ولكن كمكون عضوى أصيل للثقافة المعاصرة. وهو مكون ثرى، يتضمن المناهج والمعلومات والأفكار والإتجاهات.

– وتأكيداً لعدم النمطية، ستتسع السلسلة للتأليف والترجمة والعرض، وتتضمن إجتهادات التبسيط والتنظير والاستشراف، وستنطلق من أهمية تضامن المعرفة والحكمة وإرتباط العلم الحديث بالتكنولوجيا - techno science، مع التركيز على أهمية ارتباطهما معا بالأخلاق.

وبعد، فإننى أتقدم بالشكر إلى كل الزملاء الذين تحمسوا للفكرة، وساهموا

فى تقديم المادة العلمية للسلسلة. وباسمهم وباسمى أشكر الصديق العزيز الأستاذ أحمد أمين، الناشر المثقف الذى احتفى من قبل بسلسلة «كرايات مستقبلية»، وشجعنا على إصدار هذه السلسلة الجديدة. والله الموفق.

هذه الكراسة

تقدم اتجاهاً واعداً بالتطبيقات التكنولوجية الحالية والمستقبلية. وقد حرص مؤلفها، عالم الفيزياء الشاب، الدكتور محمد زكى عويس أستاذ أطياف الليزر المساعد بكلية العلوم جامعة القاهرة، على تبسيط أسسها العلمية بأكبر قدر من الوضوح، الذى يسمح للقارئ الجاد بأن ينطلق من الإطار العام لتركيب المادة وخواصها، إلى فهم الحالة الخاصة بالبللورات السائلة وإمكانياتها التطبيقية الهائلة. والدكتور عويس صديق عزيز، يمكن تلخيص أوصافه فى كلمات ثلاث: الحماس - الإخلاص - الإنتاجية. وبجانب بحوثه المتصلة فى مجال تخصصه، خاض مؤلفنا تجربة المشاركة فى أنشطة الثقافة العلمية، حيث قدم ثلاثة كتب حظيت بقبول واسع. وها هو ينضم إلى أسرة كراسات علمية، كشريك مقتنع برسالتها، فأهلاً بشراكته وحماسته.

أ.د. أحمد شوقى
أستاذ الوراثة - جامعة الزقازيق
يناير ١٩٩٨

مقدمة

من أهم الدروس التى يتعلمها المرء أثناء مراحل التعليم الأولى هو أن المادة تتواجد فى ثلاث حالات مختلفة هى الحالة الصلبة والسائلة والغازية. وفى الحقيقة هذا الأمر ليس صحيحاً كلية. ففى بداية القرن العشرين وجد العلماء أن المادة يكون لها أطوار بينية مختلفة تعتمد على درجة حرارتها تجعلها تتواجد فى الحالة ما بين السائل والغاز أو فى الحالة ما بين الصلب والسائل. وقد أطلق العلماء على المواد المتبلورة التى تتواجد فى حالة سائلة اسم «البلورات السائلة».

وحالياً ترتبط الأفكار عن المواد المختلفة فى طورها البلورى السائلى وتطبيقاتها التكنولوجية عندما يستعملها المرء فى الساعات الرقمية أو شاشات الكمبيوتر أو الترمومترات الرقمية المستخدمة فى قياس درجات الحرارة. إلا أن هناك عديداً من المواد البلورية السائلة الأكثر شيوعاً من تلك الأمثلة، وتشمل معظم النظم البيولوجية متضمنة حتى أنفسنا. فنرى أن خلايا الأغشية ما هى إلا تأثير المواد بها وهى فى حالتها البلورية السائلة التى لها خواص ميكانيكية وكهربائية ومغناطيسية غير عادية. وفى الوقت الحالى تهتم الدول المتقدمة بتطوير هذه المواد البلورية السائلة التى يتوقع خبراء التكنولوجيا أن تكون العهد الجديد لتكنولوجيا المواد فى القرن الحادى والعشرين.

وخلال الصفحات التالية نلقى الضوء على فيزياء المادة وخواصها ثم نستعرض قصة اكتشاف المواد البلورية السائلة وأهم خصائصها الفيزيائية وتطبيقاتها التكنولوجية.

الفصل الأول

الخواص الفيزيائية للمواد

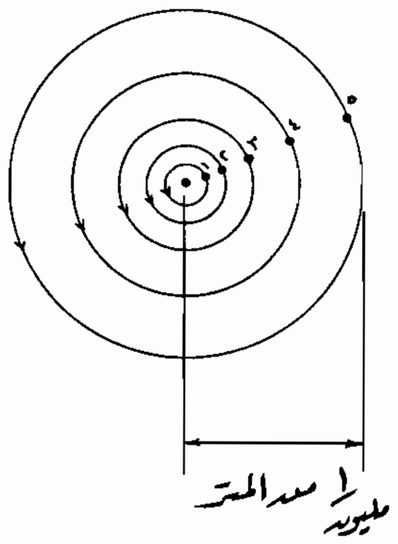
١-١) فيزياء الذرة

أعتقد منذ قديم الزمان أن المادة على الرغم من كونها تبدو ظاهرياً متجانسة، فإنها تتألف من تراكيب دقيقة لا يمكن مشاهدتها بصورة مباشرة. ولم يأخذ هذا الاعتقاد شكله العملى إلا خلال النصف الثانى من القرن التاسع عشر. فمنذ ذلك الوقت، تم إثبات وجود مكونات المادة من الذرات والجزئيات.

وتتركب الذرات من جسيمات دقيقة تسمى الإلكترونات (مشحونة بشحنة سالبة) والبروتونات (مشحونة بشحنة موجبة) والنيوترونات (غير مشحونة).

فكل ذرة تتكون من نواة صغيرة تتألف من بروتونات ونيوترونات وتشكل قلب الذرة وعلى مسافة منها هناك عدد من الإلكترونات تحوم فى مدارات حولها. وربما يتصور المرء، أن الإلكترونات تدور حول النواة كدوران الكواكب حول الشمس، ولكن هذه النظرة فى الحقيقة تتعارض مع النظرية الكهرومغناطيسية الكلاسيكية.

إذ، حسب هذه النظرية، أن إلكتروناً يسير بحركة دائرية يبث باستمرار طاقة كهرومغناطيسية، وبذلك يكون المدار غير مستقر. ولحل لغز الذرة، اقترح العالم نيل بوهر «N. Bohr» عام ١٩١٣م فكرة مقود الحركة (تكمم) التى تصف دوران الإلكترون حول نواة الذرة، وبذلك أمكن دراسة التركيب الذرى. وحصل العالم بوهر على صورة للذرة التى هى مع عدم كمالها ثم استبدالها فيما بعد بنظرية تعتمد على ميكانيكا الكم أكثر دقة وفائدة، تشكل حتى الآن صورة جيدة تساعدنا على فهم الصفات الفيزيائية والكيميائية للذرات والمواد التى تكونها.



شكل ١ : رسم مبسط لذرة الهيدروجين كما تصوره العالم نيل بوهر.

إن الفرق الأساسى بين ميكانيكا نيوتن الكلاسيكية وميكانيكا الكم هو اختلاف مفهوم الكميات الفيزيائية تحت الدراسة. فميكانيكا نيوتن تتضمن دراسة حركة الأجسام تحت تأثير القوى، حيث يفترض أن الكميات الفيزيائية كموقع الجسم وكتلته وسرعته وعجلته (تسارعه) إلى أخره، يمكن قياسها بدقة متناهية. وهذه الفرضية بطبيعة الحال صحيحة فى حدود تجاربنا اليومية.

ونتائج ميكانيكا نيوتن تتفق مع النتائج العملية فى ظروف المشاهدات اليومية.

أما ميكانيكا الكم، فتتضمن هى الأخرى علاقات بين الكميات الفيزيائية العملية والمشاهدة. ولكن مبدأ عدم التحديد « Uncertainty Principle » يغير جذرياً معنى القياسات فى عالم الذرات، وبناء على مبدأ عدم التحديد، لا يمكن مطلقا تحديد موقع الجسم وكمية حركته (الزخم) بدقة متناهية.

فى الوقت نفسه الذى نرى فى ميكانيكا نيوتن أن هاتين الكميتين لهما قيمة محددة فى كل لحظة.

وفى الحقيقة، أن الكميات الفيزيائية المتضمنة فى ميكانيكا الكم هى المعدلات « average ». على سبيل المثال، نقول استناداً على نظريات ميكانيكا نيوتن أن نصف قطر مدار الإلكترون فى الحالة الأرضية لذرة الهيدروجين يساوى 5.3×10^{-11} m.
بينما استناداً على نظريات ميكانيكا الكم نقول إن معدل نصف قطر مدار الإلكترون فى الحالة الأرضية لذرة الهيدروجين هو 5.3×10^{-11} m.

وبالفعل لو قمنا بإجراء تجارب عملية مناسبة لقياس نصف قطر مدار الإلكترون لوجدناه فى معظم الأحيان هو أكبر أو أقل من هذه القيمة، ولكن معدل القيم هذه يساوى 5.3×10^{-11} m.

ويمكن للمراقب وللوهلة الأولى أن يجد فى ميكانيكا الكم تعويضاً غير دقيق لميكانيكا نيوتن الكلاسيكية. ولكن دراسة دقيقة للموضوع توضح الحقيقة، وهى أن ميكانيكا نيوتن ليست إلا صيغة تقريبية لميكانيكا الكم.

إن الدقة المزعومة فى ميكانيكا نيوتن هى خداعية، وتوافق نتائجها مع التجارب اليومية ليس إلا نتيجة أن الأجسام الكبيرة « macroscopic » تتألف من عدد كبير من الذرات، حيث يكون عدم التحديد فى معدل تصرفاتها غير ملحوظ. وبدلاً من أن تكون هناك مجموعتان من القوانين أولاهما لوصف العالم الكبير ومجموعة أخرى من القوانين لوصف العالم الصغير الدقيق « microscopic »، هناك فى الحقيقة مجموعة واحدة من القوانين. وميكانيكا الكم تشكل الهيكل الدقيق لوصف جميع الأشياء والأجسام.

١-٢) النظرية الجزيئية للمادة:

كما ذكرنا سلفاً، تتركب المادة من أجزاء صغيرة جداً تسمى بالذرات أو الجزيئات. وذرات المادة الواحدة متشابهة تماماً من ناحية التركيب والخواص الفيزيائية والكيميائية. وتستقر جزيئات المادة فى حالة اتزان داخلها تحت تأثير قوى بينية كبيرة بعضها جاذب والآخر طارد.

وتتوقف هذه القوى وشدتها على نوع المادة المعينة.

والقوى الجاذبة فى المادة ثلاثة أنواع هى :

أ) **قوى كولومية** : تعتمد على التجاذب الكهربائى بين الشحنات المختلفة الإشارة، كما يحدث فى حالة البلورات الأيونية مثل كلوريد الصوديوم.
(الكولومية مشتقة أساساً من قانون كولوم للقوة الكهربية بين الشحنات)

ب) **قوى ڤان درڤال** : وتحدث نتيجة دوران الإلكترونات فى مداراتها حول نواة الذرة، ويتسبب عن ذلك ما يسمى بثنائى القطب الكهربائى، وهذا يتجاذبها مع بعضها فى الذرات المتجاورة وتحدث ما يطلق عليه بقوى ڤان درڤال، وهى غالباً قوى ضعيفة كما فى الشمع وذلك بسبب انخفاض نقطة انصهاره.

جـ) **قوى التبادل** : وتنشأ عندما يحدث اتحاد كيميائى ينتقل فيه الإلكترون من الذرة الأولى إلى ذرة مجاورة. هذا الانتقال يسبب تلاصق الذرتين بقوى كبيرة.

أما القوى الطاردة فى المادة فتنتج بسبب تنافر بين الشحنات السالبة (الإلكترونات) المحيطة بكل ذرة والتى يصبح تأثيرها كبيراً جداً عندما تقترب الذرات من بعضها بدرجة كبيرة تحت تأثير القوى الجاذبة سالفة الذكر.

١-٣) أحوال المادة:

تتواجد المادة فى الطبيعة عادة على أشكال ثلاثة هى :

- الحالة الصلبة.
- الحالة السائلة.
- الحالة الغازية.

وتتوقف الحالة التى تتواجد عليها المادة على كيفية ارتباط جزيئاتها ببعضها وعلى مقدار القوى البينية بينها.

*** الحالة الصلبة للمادة :**

وفيها تكون الجزيئات قريبة من بعضها وتكون قوى التجاذب بين الجزئيات كبيرة جداً. وهذه القوى هى التى تحفظ للجسم الصلب شكله. ويتحرك كل جزئ حركة تذبذبية حول موضع توازنه، تزداد سعتها الحركية بازدياد درجة الحرارة. وعندما تصل درجة الحرارة لنقطة الانصهار تكون الذبذبات من العنف بمكان، حتى أنها تتغلب على قوى التجاذب. فيتحطم الشكل الصلب للجسم متحولاً إلى سائل. وتمثل الحرارة الكامنة للانصهار الطاقة الحرارية اللازمة لتحطيم الشكل الصلب للجسم.

*** الحالة السائلة للمادة :**

فى هذه الحالة تتحرك الجزيئات بحرية أكثر من حالة الصلابة، وإن كانت قوى التجاذب بينها لا تزال من القوة بحيث تجمعها جميعاً فى حجم ثابت. وتغادر السوائل عند سطحها بعض الجزيئات ذات الطاقة الكبيرة ويعرف ذلك بالبخر. ونتيجة هروب الجزيئات السريعة ذات الطاقة العالية تبقى الجزيئات ذات الطاقة المنخفضة نسبياً، بحيث نجد أن متوسط طاقة الجزئ فى داخل السائل تنخفض. ولذلك فإن البخر يخفض من درجة حرارة السائل.

أما إذا ارتفعت درجة الحرارة حتى تصل إلى نقطة الغليان. فإن الطاقة الحرارية تكون كافية لهروب جميع الجزيئات من السائل وبذلك يتحول إلى الحالة الغازية. ويكون ضغط الجزيئات فوق سطح السائل (ضغط البخار) عند نقطة الغليان مساوياً للضغط الجوى.

*** الحالة الغازية للمادة:**

فى هذه الحالة لا تشغل جزيئات الغاز أماكن ثابتة، فهى حرة الحركة فى أى مكان ولذلك فإننا نجد أن الغاز يشغل دائماً حجم كل الإناء الموضوع فيه. ونتيجة لبعد الجزيئات عن بعضها يسهل ضغط الغازات بدرجة أكبر من السوائل والأجسام الصلبة.

وقد أثبت العلم الحديث الآن، أن الأطوار المختلفة التى تتواجد بها جزئيات المادة ليست ثابتة بل هناك أطوار عديدة بينية « mesophases » تتواجد بها. هذه الأطوار البينية تجعل المادة تجمع فى خصائصها الفيزيائية والكيميائية ما يجعلها وكأنها تتواجد فى الحالتين الصلبة والسائلة فى آن واحد كما هو الحال فى « مواد البلورات السائلة » كما سيأتى بيانه فى الفصل الثانى.

١-٤) الخواص الفيزيائية للسوائل:

وفيما يلى نستعرض بعضاً من خواص المادة فى حالتيها الصلبة والسائلة:

١-٤أ) خواص السوائل الساكنة

١) ضغط السائل

وجد عملياً أن ضغط السائل يؤثر دائما عمودياً على السطح، ويتوقف ذلك على ارتفاع السائل وكثافته وعجلة الجاذبية الأرضية.

٢) قاعدة باسكال

وتنص على أنه: إذا وقع جزء من سائل متزن فى حيز محدود تحت تأثير ضغط ما، فإن الضغط ينتقل غير منقوص إلى جميع أجزاء السائل.

٣) دفع السوائل للأجسام المغمورة فيها (قاعدة أرشميدس):

وجد عملياً أنه إذا غمر جسم فى سائل، فإنه يقع تحت تأثير دفع من أسفل إلى أعلى بسبب السائل.

وهذا الدفع يسبب نقص وزن الجسم ظاهرياً. ويؤثر هذا الدفع على الجسم سواء كان مغموراً كلياً أم مغموراً جزئيا. وقد وجد أن هذا الدفع مساوياً لوزن السائل الذى يزيحه الجزء المغمور من الجسم. أى إن الدفع = وزن السائل المزاح

وهذه العلاقة تعرف بقاعدة أرشميدس.

وتستعمل هذه القاعدة فى تعيين الأوزان النوعية للأجسام والسوائل.

ويعرف الوزن النوعى لجسم، بأنه النسبة بين وزن الجسم فى الهواء ووزن حجم من الماء يساوى حجم الجسم.

$$\text{إذاً، الوزن النوعى لجسم صلب} = \frac{\text{وزن الجسم فى الهواء}}{\text{وزن حجم مساو للجسم من الماء}}$$

$$\text{والوزن النوعى للسائل} = \frac{\text{وزن حجم معين من السائل}}{\text{وزن الحجم نفسه من الماء}}$$

ويمكن قياس الوزن النوعى للسوائل باستعمال الهيدرومترات. ويتركب النوع البسيط منها من عمود من الخشب منتظم المقطع مثبت أسفله قطعة رصاص. وإذا وضع فى سائل فإنه يطفو رأسياً. ويتوقف طول العمود المغمور تحت سطح السائل على كثافة السائل.

٤) اتزان الأجسام الطافية

عندما يطفو أى جسم فوق سائل . . فإنه يكون متزناً تحت تأثير قوتين هما :

أ - ثقل الجسم وتعمل هذه القوة فى نقطة تسمى بمركز ثقل الجسم .

ب - دفع السائل إلى أعلى وتؤثر قوة الدفع فى نقطة تسمى بمركز الطفو وهو فى الواقع مركز ثقل السائل المزاح .

ويكون الجسم فى حالة اتزان مستقر، إذا كان مركز الطفو أعلى وضعاً من مركز ثقل الجسم . أما إذا حدث العكس، فإن الاتزان يكون غير مستقر . وذلك بسبب تكون ازدواج من قوتى الثقل والدفع مما يؤدى إلى دوران الجسم ويجعل أسفله عاليه . ويجب مراعاة ذلك عند بناء السفن وتحميلها، بحيث يكون مركز الطفو أعلى دائماً من ثقل السفينة .

٥) التوتر السطحى

تنشأ ظاهرة التوتر السطحى عن قوى التماسك وقوى الالتصاق بين الجزيئات عند سطوح السوائل . وهى خاصية لا وجود لها فى داخل السوائل .

فإذا اعتبرنا جزيئًا موجوداً فى باطن السائل فإنه يكون واقعاً تحت تأثير قوى الجزيئات المحيطة به من جميع الجهات ولذلك فإن محصلة هذه القوى تساوى صفراً .

أما الجزئ الموجود على السطح فإنه يقع تحت تأثير قوى جذب الجزيئات التى تحته فقط وتكون محصلة هذه القوى إلى أسفل . تعمل هذه المحصلة على حركة الجزيئات عند السطح إلى داخل السائل . وهذا يسبب ميل سطح السائل دائما إلى الانكماش ويؤدى ذلك إلى تكور قطرات السوائل فوق ورق مشمع، وتبدو كما لو كانت موضوعة داخل غشاء مشدود رقيق من المطاط، وإذا اعتبرنا أى خط على سطح السائل فإنه يقع تحت تأثير قوتين متساويتين مقداراً ومتضادين اتجاهاً .

ويعرف التوتر السطحى « بالقوة المؤثرة على وحدة الأطوال من أى خط من خطوط سطح السائل » .

٦) الخاصية الشعرية وزاوية التلامس

إذا غمرنا طرف أنبوبة رأسياً فى سائل، نلاحظ ارتفاع السائل داخل الأنبوبة . تسمى هذه الظاهرة بالخاصية الشعرية . ومرجعها وجود توتر سطحى للسائل .

وكلما ضاق مقطع الأنبوبة الشعرية ازداد ارتفاع السائل بها . ويشذ الزئبق عن جميع السوائل فى هذا الشأن، إذ يلاحظ انخفاض سطح الزئبق داخل الأنابيب الشعرية بالنسبة لسطحه خارجها وذلك بسبب كثافته المرتفعة وارتفاع توتره السطحى، مما يجعله يجمع بين خصائص السوائل والمواد الصلبة .

وإذا لوحظ أى سائل داخل أنبوبة شعرية، نجد أن السائل يرتفع قرب جدار الأنبوبة عنه فى المنتصف . كما هو موضح بالشكل [٢]، حيث يصنع المماس لسطح السائل عند نقطة تلامسه مع جدار الأنبوبة زاوية داخل السائل تسمى زاوية التلامس .

وتؤثر قوة التوتر السطحى فى اتجاه هذا المماس، وتتوقف زاوية التلامس على طبيعة السائل والمادة التى يلامسها . وفى حالة الماء والزجاج تكون زاوية التلامس

صفراً. لذلك نجد أن الماء يبلل الزجاج تماماً، أى إنه ينتشر فوقه. أما إذا كان الزجاج غير نظيف أو مدهونًا بمادة شمعية أو ما شابه ذلك، نجد أن الماء يتكور على السطح لأن زاوية التلامس لن تكون صفرية فى هذه الحالة.

وتكون زاوية التلامس دائما حادة فى جميع السوائل ما عدا الزئبق وهو السائل الوحيد الذى وجد أن زاوية تلامسه مع الزجاج منفرجة وتساوى ١٣٧°. وسبب ذلك، أن قوة التماسك بين جزيئات الزئبق أكبر من قوة التلاصق بين هذه الجزيئات وسطح الزجاج، بينما يحدث العكس فى حالة الماء والزجاج، والجدير بالذكر أن التوتر السطحى للسوائل يتغير بالحرارة.

١-٤ب) خواص السوائل المتحركة

١) خاصية الانتشار

يقصد بالانتشار هو انتقال ذرات أو جزيئات المادة فى داخلها من مكان إلى مكان آخر. ويعود الفضل لاكتشاف الطبيعة الجزيئية للمادة إلى ظاهرة الانتشار.

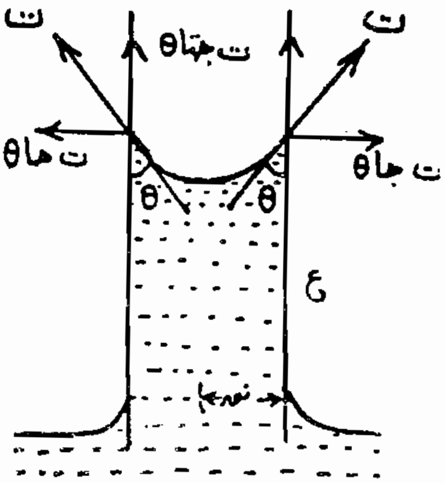
والجدير بالذكر أن خاصية الانتشار قد تحدث فى الأجسام الصلبة. وأجريت تجربة عملية لذلك عن طريق ضغط لوحين أحدهما من الذهب النقى والآخر من الرصاص النقى وتركا بعد تلاصقهما لعدة سنوات. فوجد بعد التحليل الكهربائى تغلغل ذرات الذهب فى لوح الرصاص وكذلك تغلغل ذرات الرصاص فى لوح الذهب إلى أعماق تصل إلى ٢ مم فى الداخل مما يدل على أن ذرات كل من الذهب والرصاص تحركت داخل المادة.

أما فى حالة السوائل، فقد أجريت التجربة الآتية:

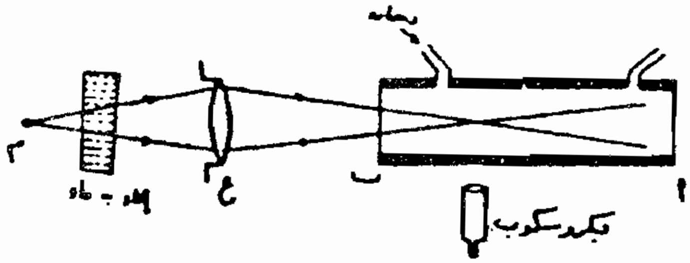
وضعت كمية من كبريتات النحاس الزرقاء المركزة فى مخبار ثم سكب بلطف مادة بيكرومات البوتاسيوم (وهو سائل أصفر اللون كثافته أقل من كثافة كبريتات النحاس)، على قطعة من الفلين طافية على سطح كبريتات النحاس، وذلك لمنع امتزاج السائلين عند السكب. فى البداية وجد أن السطح الفاصل للسائلين كان واضحاً تماماً.

وعندما ترك المخبار زمنا كافياً دون أن يقربه أحد، وجد أن السائلين اختلطا تماماً وتكون لون أخضر منتظم فى كل المخبار.

أما بالنسبة لانتشار الغازات فقد أجريت التجربة الآتية:- استعمل الدخان لتبين حركة جزيئات الغاز، والجهاز المستخدم موضح بالشكل [٣]، ويتركب من مصدر ضوئى قوى (S) موضوع أمام عدسة مجمعة (L) لتجميع الضوء داخل إناء زجاجى (AB) به فتحتان جانبيتان يمر تيار من الدخان داخل الإناء الزجاجى، وينظر إلى ذرات الدخان بواسطة ميكروسكوب.



شكل ٢ : ارتفاع السوائل فى الأنابيب الشعرية وتعريف زاوية التلامس.



شكل ٣ : تجربة الدخان فى تعيين حركة الغازات.

فتظهر الجزيئات بتأثير شعاع الضوء كأنها نقط مضيئة فى فضاء مظلم (كالنجوم فى الليل) . وتزال الحرارة من شعاع الضوء الساقط بوضع إناء به ماء بارد فى طريق الضوء يسمح بمروره ولكنه يمتص الشعاع الحرارى المتولد من المصدر الضوئى وذلك حتى لا تصل هذه الحرارة إلى الدخان فتسبب تيارات حمل تحرك ذراته.

ولوحظ بالنظر فى الميكروسكوب أن النقط المضيئة ترتعش كما لو كان شيئاً غير منظور يصطدم بها وهذا الشئ هو جزيئات الهواء. واختير الدخان فى هذه التجربة لأن جزيئاته صغيرة الحجم وخفيفة الوزن، بحيث يمكن أن يؤثر فيها تصادم جزيئات الهواء فتظهر نتيجة التصادم فى الميكروسكوب على شكل رعشة للنقط المضيئة.

وتتميز جميع المواد بما يسمى معامل الانتشار الذى تتوقف قيمته على نوع كل من المادة المنتشرة وكذلك الوسط الذى تنتشر خلاله هذه المادة.

أما إذا كان الانتشار نتيجة لاختلاف تركيز المادة نفسها فى الوسط ذاته سميت الظاهرة «الانتشار الذاتى».

وهناك كما نعلم طرق عديدة لقياس معامل الانتشار فى السوائل من أهمها طريقة الضغط الأسموزى.

وهناك نظريات عديدة وضعت لدراسة حركة السوائل نذكر منها « قاعدة توريشللي » التي تعتني بخروج سائل من فتحة في إناء. وكذلك « قاعدة برنولي » التي تعتني بحركة السوائل داخل الأنابيب المختلفة. ولهذه القاعدة تطبيقات عديدة أهمها عمل مذرات spray العطور والمبيدات الحشرية السائلة ومذرات الطلاء بالبويات التي تعتمد أساسا على قاعدة برنولي التي تنص على أن ازدياد سرعة السائل أو الغاز عند مقطع في أنبوبة يصحبه انخفاض في الضغط في هذا المكان.

٢) لزوجة السوائل

لوحظ عند سكب كمية من زيت أو جليسرين وأخرى من ماء على مستوى أفقي، نجد اختلافاً في قابلية كل منهما على الانسياب. فبينما نجد أن الماء يستجيب بسهولة لفعل القوة التي تعمل على تحريكه، نجد أن الجليسرين بطئ في التدفق.

والخاصية التي تميز السائل من حيث استجابته للحركة تسمى باللزوجة وتنشأ عن وجود ما يشبه الاحتكاك بين طبقات السائل بعضها ببعض.

وكلما ازدادت قيمة هذا الاحتكاك زادت لزوجة السائل. ويمكننا تعريف اللزوجة بأنها الممانعة التي تبديها طبقات السائل للحركة.

١ - ٥) فيزياء الجوامد

١ - ٥أ) مرونة الأجسام الصلبة

إذا أثرنا بقوة على جسم صلب، ونتج عنها تغير في أبعاده أو في شكله، يقال إن الجسم تام المرونة، إذا عاد الجسم إلى سابق شكله وأبعاده تماماً بعد إزالة القوة.

وتعود خاصية المرونة في الأجسام إلى القوة البينية الكبيرة بين الذرات المكونة لها.

وتعتمد نظرية المرونة على بعض المشاهدات التي أجراها العالم « هوك » لربط العلاقة بين القوة المؤثرة على الجسم والتغير في أبعاده وشكله. وكمقياس للقوة، عرف « هوك » الإجهاد Strain بأنه القوة الواقعة على وحدة المساحات من الجسم، كما عرف الانفعال Stress بأنه التغيير النسبي الحادث وينقسم إلى ثلاثة أنواع هي:

١ - انفعال طولي: ويساوي التغيير في الطول مقسوماً على الطول الأصلي.

٢ - انفعال حجمي ويساوي التغيير في الحجم مقسوماً على الحجم الأصلي.

٣ - انفعال قاص: ويحدث في حالة تغير شكل الجسم دون أبعاده كما يحدث عند لي سلك بقوة قاصة. ويقاس الانفعال القاصي بمقدار الزاوية التي يدورها خط مستقيم على سطح الجسم نتيجة لتأثير القوة.

ووضع « هوك » قانوناً فيزيائياً يعرف باسمه وينص على:

« تتناسب مركبات الإجهاد طردياً مع مركبات الانفعال المناظرة داخل الحد المرن للجسم ».

والحد المرن للجسم هو النقطة التي يبطل بعدها قانون « هوك ».

وتتميز الأجسام بمعاملات المرونة التي تعرف بأنها النسبة بين الإجهاد إلى الانفعال.

ويتوقف معامل المرونة على طبيعة المادة وتميزها من ناحية المرونة. وبما أن هناك ثلاثة أنواع من الانفعال، لذلك يوجد ثلاثة أنواع من معاملات المرونة هي:

أ) معامل المرونة الطولى (معامل يونج) ويستخدم عندما يتضمن الانفعال تغييراً فى الطول، كما هى الحال فى حالة استطالة سلك.

$$\text{إذاً معامل يونج للمرونة الطولية} = \frac{\text{الإجهاد}}{\text{الانفعال الطولى}}$$

ب) معامل المرونة الحجمى: وينشأ عندما يكون الانفعال الناشىء عن القوة حجمياً، كما هو الحال فى الغازات والسوائل والأجسام التى تقع عليها ضغوط من جميع الاتجاهات.

وهناك معامل مرونة حجمى يميز الغازات وآخر يميز السوائل، ويعتمد على ضغط الغاز والحرارة النوعية.

جـ) معامل الصلابة أو القص ويستخدم عندما يحدث الإجهاد تغييراً فى الشكل فقط.

فى هذه الحالة يقاس الانفعال القاصى بمقدار الزاوية التى يتغير بها شكل الجسم. وبناء عليه يتحدد معامل الصلابة بالنسبة بين الإجهاد على الجسم إلى مقدار الزاوية أو الانفعال القاصى.

وهناك علاقات رياضية تربط بين جميع معاملات المرونة التى تميز المادة، ويمكن اشتقاقها بتعريف ما يسمى بنسبة بواسون التى تعرف بأنها النسبة بين الانفعال المستعرض للجسم على الانفعال الطولى له أو هى مقدار الانكماش النسبى فى سطح الجسم إلى الاستطالة.

١ - ٥ ب) التبلور

كما ذكرنا سلفاً، تتركب المادة فى حالاتها الغازية أو السائلة أو الصلبة من ذرات وجزيئات دائمة الحركة، ويربط بينها قوى تكون صغيرة جداً فى حالة الغازات، وتكون أكبر فى حالة السوائل، بينما هى فى الأجسام الصلبة قوى كبيرة جداً تحفظ للجسم شكله وحجمه.

ونظراً لصغر هذه القوى فى الغازات والسوائل، فإن جزيئاتها تتحرك عشوائيًا، ولايكون هناك ترتيب منتظم لها.

بينما فى حالة الأجسام الصلبة فهى نوعان:

أ) مواد صلبة بلورية Crystalline، وهى التى تترتب ذراتها بانتظام على شكل خلايا تتكرر فى الاتجاهات الفراغية للجسم.

ب) مواد صلبة غير بلورية amorphous مثل الزجاج الذى يعتبر فى معظم الأحوال كأنه سائل فائق التبريد Super Cooled Liquid.

فيما يلى سوف نلقى الضوء على أنواع الجوامد المتبلورة التى تحددت بأربع أنواع هى:

١ – البلّورات الأيونية.

٢ – البلّورات الجزيئية.

٣ – البلّورات التساهمية.

٤ – البلّورات الفلزية.

فى البلّورات الأيونية مثل كلوريد الصوديوم NaCl تتنازل ذرة الصوديوم عن إلكترون التكافؤ بها لذرة الكلور، وتكون رابطة الترابط أيونية بين أيون الصوديوم الموجب وأيون الكلور السالب.

أما فى حالة البلورات الجزيئية، يكون الترابط بقوى فان درفال. وتكون جميع ذرات البلورة متشابهة ومتعادلة. تحمل كل ذرة شحنات موجبة فى النواة وسالبة حولها.

وهذا يشبه بشكل ثنائى قطب كهربائى، حيث تتركب الذرات والجزيئات كما هو موضح بالشكل (٤)، بحيث تكون الشحنات المختلفة أقرب ما يمكن، وتكون القوى الكهربائية المحصلة هى الفرق بين قوى التجاذب والتنافر بين الشحنات المختلفة والمتشابهة، ويكون الجذب أكبر قليلاً من الطرد لقرب الشحنات المختلفة عن الشحنات المتماثلة.

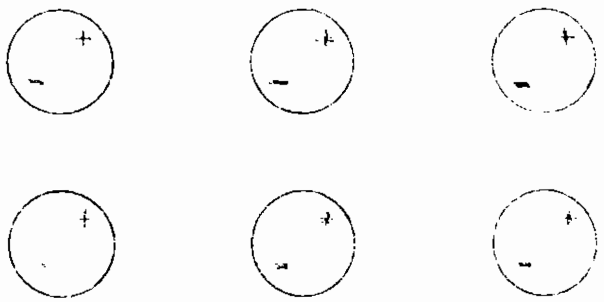
هنا يكون الترابط ضعيفاً، ولذلك فإن درجة انصهار مثل هذه المواد (كالشمع) تكون صغيرة، حيث إن رفع الحرارة وما يتبعه من تهيج حرارى Thermal agitation يسبب كسر الحالة الصلبة إلى سائلة.

وفى حالة البلورات التساهمية تكون الكثافة الكهربائية بين الذرات المتجاورة كبيرة. وتشترك الإلكترونات فى الذرات المتجاورة.

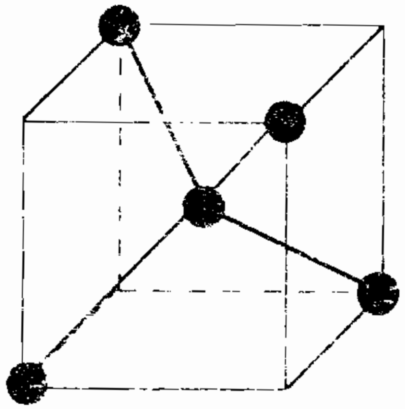
ومن المعروف لدينا، أننا نحصل على تركيب إلكترونى مستقر فى الذرات إذا استوفت عدد $2n^2$ إلكترون فى الغلاف الخارجى لها، حيث إن n تمثل رتبة المدار أو العدد الكمى الأساسى للذرة.

على سبيل المثال تملك ذرة الكربون أربعة إلكترونات فى غلافها الثانى، فإذا كان لكل ذرة كربون أربع ذرات كأقرب جيران، يمكن أن تشترك كل ذرتين متجاورتين فى إلكترونين وتصبح جميع ذرات الكربون فى الجسم الصلب، وكأن بغلافها الخارجى عدد ثمانية إلكترونات، وليس أربعة فقط، وهذا بالطبع وضع مستقر. وتنشأ من هنا قوى ترابط غاية فى القوة كما فى حالة شبيكة الماس، انظر الشكل (٥).

أما فى حالة البلورات الفلزية فنجد أن الفلزات تتميز بعدد صغير من الإلكترونات فى أغلفتها الخارجية. وتعطى ذرات الفلز هذه الإلكترونات الخارجية لتكوين سحابة



شكل ٤ : ثنائى القطب الكهربائى.



شكل ٥ : شبكة الماس.

من الشحنات السالبة تحيط بأيونات هذه الذرات، ويعود ذلك لضعف الرابطة بين هذه الإلكترونات الخارجية وبين الذرات التابعة لها.

وتكون قوى التجاذب بين الأيونات والسحابة الإلكترونية هي القوى الأساسية للترابط بين ذرات الفلز الذى يمكن تصوره على أنه حالة رص منتظمة من الأيونات الموجبة تحيط بها سحابة من الإلكترونات.

ولما كانت الرابطة هنا بين الأيون والسحابة الإلكترونية المحيطة، لذلك تتميز الرابطة فى الفلزات بأنها مطاطة "elastic". ويعود هذا الاختلاف إلى عدم وجود ربط مباشر بين الذرات وبعضها، كما فى الحالات السابقة. ويلاحظ هنا أن السحابة الإلكترونية فى الفلزات تعطى لها خواصًا مميزة مثل التوصيل الكهربائى والحرارى الجيد وكذلك لمعة السطح الخارجى.

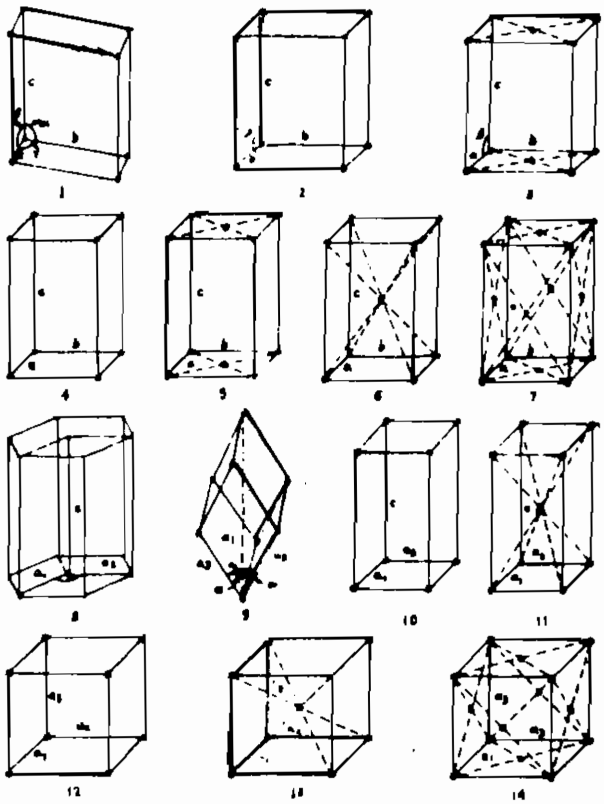
١ - ٦) التركيب البلورى

إذا ترتب فى الفراغ عدد لا نهائى من النقط، بحيث يكون لكل نقطة الوسط المجاور نفسه identical Surroundings فإنها تكون شبيكة فراغية، لكل نقطة فيها عدد الجيران نفسه على الأبعاد والاتجاهات نفسها. ويتميز التركيب البلورى على ذلك بعدد التناسق "Corrdination number"P الذى يحدد الذرات المجاورة كما سبق ذكره.

أ - شبيكات الأربعة عشر البرافية The 14 - Bravais Lattices

يوجد فقط أربعة عشرة طريقة يمكن بواسطتها ترتيب أى عدد من النقط، بحيث تستوفى شروط تكوين الشبيكة، انظر الشكل (٦).

ولكل طريقة من هذه الطرق تتحدد وحدة خلية Unit cell عندما تتكرر هذه الوحدة فى الاتجاهات الفراغية. ووحدة الخلية هى أصغر منشور أو متوازى مستطيلات توجد عند كل ركن من أركانه شبيكة نقطية.



شكل ٦ : الشبيكات البراڤية الأربعة عشر .

ب - المجاميع البلورية ووحدة الخلية

عدد المجاميع سبعة وأساسها محاور ثلاثة هى X , Y , Z تميل بزوايا α , β , ϕ وتؤخذ هذه المحاور على أنها خطوط تقاطع الثلاثة أوجه الأساسية للبلورة والتى توازى مستويات التماثل فى البلورة إذا كانت تحتوى إياها .

والمجاميع السبعة هى :

1 - Triclinic ثلاثى الميل: $\alpha \neq 90$, $\beta \neq 90$, $\phi = 90$

2 - Monoclinic (أحادى الميل) : $\alpha = \phi = 90$, $\beta \neq 90$, $c < a, b$ arbitrary

3 - Orthorhombic (نظام التبلور المعينى) : $\alpha = \beta = \phi = 90$, $c < a < b$

4 - Tetragonal رباعى الزوايا والأضلاع : $\alpha = \beta = 90$, $\phi = 120$

$$a = b \neq c$$

5 - Hexagonal (سداسى): $\alpha = \beta = 90$, $\phi = 120$, arbitrary $a = b, c$

6 - Cubic تكعيبى : $\alpha = \beta = \phi = 90$, $a = b = c$

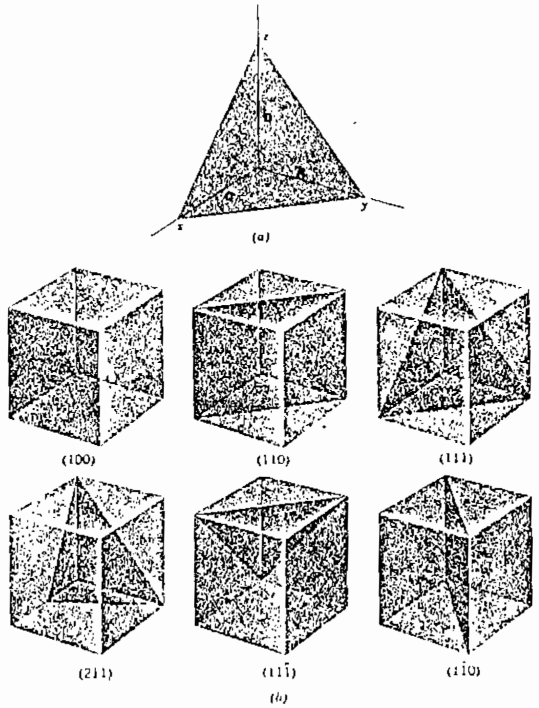
7 - Trigonal ثلاثى الوجه $\alpha = \beta = \phi \neq 90$, $a = b = c$

جـ - معاملات ميلر
Miller indices

وتتبلور معظم الفلزات بترتيب ذرى بسيط هو عادة F.C.C. تكعيبى متمركز الوجه أو تكعيبى متمركز الجسم b.c.c أو h.c.p سداسى .

تستعمل معاملات ميلر لتعريف الشبيكة فى حالة المحاور المتعامدة فقط وهدفها إعطاء وصف كامل لأى مستوى أو اتجاه فى الفراغ.

لتعريف أى مستوى نفرض أنه يقطع المحاور X , Y , Z فى a , b , c على الترتيب، ثم نوجد مقلوبات هذه الأعداد فنحصل على $\frac{1}{c}$ و $\frac{1}{b}$ و $\frac{1}{a}$ وبتوحيد المقامات تصبح $\frac{l}{x}$ و $\frac{u}{x}$ و $\frac{h}{x}$ وبإزالة المقامات يكون تعريف المستوى بالمعاملات (h k l) وهى التى يطلق عليها اسم معاملات ميلر. والشكل [٧] يبين بعض المستويات الأساسية فى الشبيكة التكعيبية.



شكل ٧ : إحداثيات ميلر.

د - تعريفات تتعلق بالتراكيب البسيطة

١ - عدد التناسق: هو عدد أقرب جيران.

٢ - نصف قطر الذرة: هو نصف المسافة بين أقرب ذرتين متجاورتين فى بلورة من العنصر النقى بدلالة طول ضلع الخلية.

٣ - الكثافة النسبية للرص: هى النسبة بين الحجم الذى يشغله الكرات التى تمثل الذرات فى الخلية إلى الحجم الكلى للخلية.

١ - ٧) الإنماء البلورى :

عندما يبدأ مصهور فلز فى التجمد تثبت درجة حرارته، حتى يتم تحويله من الطور السائل إلى الطور الصلب مع خروج الحرارة الكامنة أثناء عملية التحول. ويظهر تلقائياً وفى أماكن مختلفة من المصهور نويات بلورية، تأخذ فى النمو على شكل « دندريت » كلما ازداد التحول إلى الطور الصلب. ويكون ذلك على حساب السائل المحيط وتستمر عملية النمو حتى يتم التحول إلى الطور الصلب كاملاً.

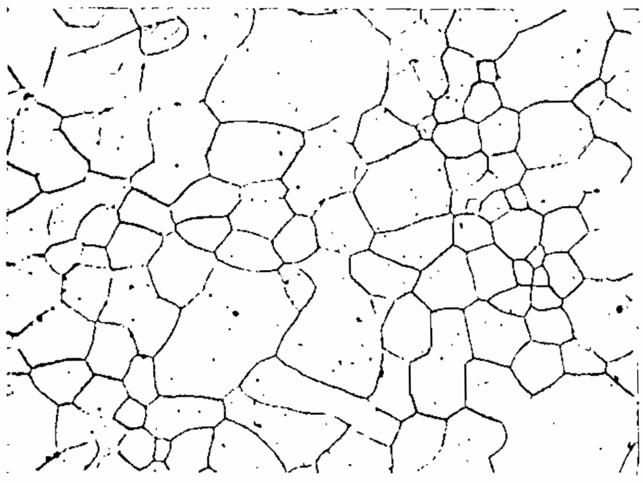
والجدير بالذكر أن الدندريت يأخذ شكل أفرع طويلة يقف نموها إذا ما تلامست مع دندريت أخر تختلف فيه اتجاهات المستويات الذرية. وبنهاية التجمد تكون

أسطح التلامس بين هذه الدندريتات حدوداً حبيبية "Grain Boundaries" فى مادة متعددة التبلور "Polycrystalline" انظر شكل [٨].

وعندما يكون عدد النويات التى يتجمد عندها السائل قليلاً يكون الحجم الحُبيبى كبيراً، وإن كان ذلك لا يحدث تلقائياً.

ولكى نحصل على بلورة أحادية من مادة ما يجب أن تعالج حرارياً بطرق خاصة عن طريق الإنماء البلورى. وتتوقف هذه الطريقة على المادة المراد تحضير بلورة أحادية لها.

وهناك طرق عديدة للإنماء البلورى، نذكر منها ما يلى:



شكل ٨ : مادة متعددة التبلور.

أ - الإنماء البلورى من المحاليل المائية

تستخدم هذه الطريقة لتحضير بلورات المواد العضوية وغير العضوية، وفيها نحتاج إلى تحضير محلول مائى فوق المشبع يترك لترسب فيه بلورات أحادية، كما هو الحال عند تحضير بلورات السكر أو الملح. وإذا أردنا تحضير بلورة أحادية لها اتجاهات بلورية معينة، نبدأ النمو ببذرة بلورة "Seed Crystal" معلومة الاتجاهات توضع فوق السائل فوق المشبع. فتتكون بلورة كبيرة لها اتجاهات البذرة نفسها. وتصلح هذه الطريقة لتنمية بلورات من الهاليدات القلوية وملح روشيل.

ب - الإنماء البلورى من المحاليل الصلبة:

ليس من الضرورى أن يكون المحلول مائياً لتحضير بلورة منه. فالمحاليل الصلبة مثل الياقوت الأحمر "Ruby" تعطى بلورات وذلك باستعمال مذيبات تكون نقط انصهارها مرتفعة.

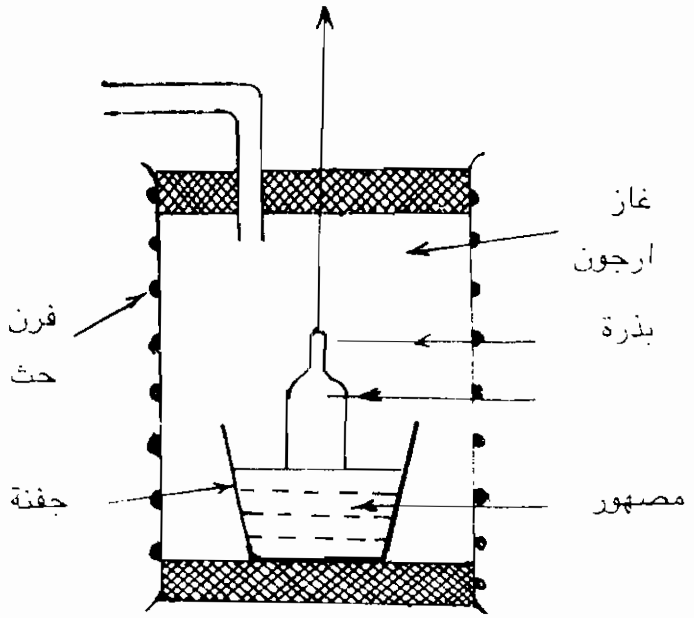
جـ - الإنماء البلورى عن طريق الضغط والحرارة:

تستخدم هذه الطريقة لتحضير بلورات من الماس. فمن المعروف أن الماس يتركب من ذرات كربون ولتحويل الكربون النقى فى صورته العادية على شكل جرافيت

سداسي البنية إلى ماس تربط بين ذراته روابط تساهمية، يوضع الجرافيت النقي في مكبس قوي يصل ضغطه إلى ١٠٠٠ (ألف) كيلو جرام لكل سم٢، كما يمكن رفع درجة حرارة الأسطوانة إلى أن تصل ٢٠٠٠ درجة مئوية. عندئذٍ، ينضغط الجرافيت في حيز صغير جداً ويتحول إلى ماس.

د – طريقة التنمية من المصهور
Growing From the melt

تعتمد هذه الطريقة على غمس بذرة بلورة في مصهر المادة، ثم تسحب إلى أعلى ببطء شديد (حوالي ١٠ مم في الساعة) وتترتب الذرات بذلك عند تجمدها على بذرة البلورة بالترتيب الموجود نفسه في البذرة ونحصل في النهاية على بلورة كبيرة أحادية Single Crystal كما هو موضح بالشكل [٩].



شكل ٩ : التنمية البلورية من المصهور.

هـ – طريقة الصهر النطاقي

توضع المادة متعددة التبلور "Polycrystalline" فيما يشبه قارب من الجرافيت، وتوضع عند طرف المادة بذرة البلورة المراد الإنماء عليها. حول القارب يوجد فرن يرفع درجة الحرارة إلى درجة أقل قليلاً من نقطة الانصهار للمادة. ثم بواسطة فرن صغير أخر يمكن رفع درجة الحرارة في منطقة صغيرة من القارب إلى درجة أعلى قليلاً من نقطة الانصهار، أي أن المنطقة الصغيرة تتحول إلى مصهور. عند تحريك الفرن الصغير ببطء شديد من ناحية البذرة إلى الطرف الآخر للمادة، فإننا نحرك المنطقة المنصهرة كذلك ببطء. وبذلك نعطي الفرصة للذرات لكي تتجمد عند اتصال المادة بالبذرة بالترتيب المنتظم نفسه لها. وبذلك نحصل في النهاية على بلورة أحادية من المادة، والجدير بالذكر أنه يمكن الكشف عن التركيب البلوري للمواد بواسطة التداخل الضوئي للأشعة السينية.

١ - ٨) الخواص الكهربائية للأجسام الصلبة

تتميز المواد الصلبة بمعامل توصيلها الكهربائي، وتنقسم إلى ثلاثة أنواع هي :

١ – مواد جيدة التوصيل الكهربائي وهي المواد المعدنية مثل النحاس.

٢ – مواد شبه موصلة مثل كبريتيد الرصاص.
٣ – مواد رديئة التوصيل أو عازلة كهربائياً مثل الأبونيت.

ويعتمد التوصيل الكهربائى للأجسام الصلبة على وجود حاملات حرة للشحنة "Free charge carriers" يمكن لها أن تتحرك تحت تأثير مجال كهربائى.

وهناك نظريات مختلفة لدراسة التوصيل الكهربائى فى المواد الصلبة أهمها:

أ – النظرية الإلكترونية للغاز الإلكترونى الحر، التى وضع فروضها عام ١٩٠٠م العالمان درودى ولورنتز Drude & Losentz . وقد افترضا أن الفلزات تحتوى إلكترونات حرة تخضع فى حركتها لقوانين الميكانيكا الكلاسيكية.

ب – النظرية الكمية للإلكترون الحر، وقد وضع فروضها العالم سمرفيلد Sommer-feld عام ١٩٢٨م، حيث فرض خضوع الإلكترونات الحرة فى الفلزات لقوانين ميكانيكا الكم.

جـ – نظرية المناطق: وضع فروضها عام ١٩٢٨م العالم بلوخ Bloch ، حيث اعتبر حركة الالكترونات فى مجال جهد دورى ناشئ عن الشبيكة.

١ - ٩) الخواص المغناطيسية للمواد الصلبة

ترتبط الخواص المغناطيسية للمواد الصلبة بالحركة المدارية والمغزلية للإلكترونات فى ذراتها. وتقاس عادة الخاصية المغناطيسية بالقابلية المغناطيسية "magnetic Sus-ceptibility" لوحدة الحجوم من المادة، وتنقسم المواد الصلبة إلى ثلاثة أنواع هى:

أ – مواد ديا مغناطيسية Diamagnetic

ويكون لها قابلية مغناطيسية سالبة، أى إنها تتنافر مع الأجزاء القوية من المجال المغناطيسى.

ب – مواد بارامغناطيسية Paramagnetic

وهى المواد التى تنجذب للمناطق القوية من المجال المغناطيسى وقابليتها موجبة.

جـ – مواد فيرومغناطيسية Ferromagnetic

وهى المواد التى لها قابلية مغناطيسية كبيرة جداً.

ومن وجهة نظر النظرية الكمية للمواد البارامغناطيسية، تكون الذرة بارامغناطيسية إذا كان لها محصلة عزم مغناطيسى ناشىء عن تحصيل العزم المغناطيسى المدارى والمغزلى.

والجدير بالذكر، أن القابلية المغناطيسية للمواد تتغير مع تغيير درجة الحرارة. والعلاقة التى تربط بينهما تعطى بقانون يسمى «قانون كورى».

أما بالنسبة لتلك البلورات التى تكون فيها الأغلفة الداخلية لذراتها ممتلئة تماما بالإلكترونات، وتكون إلكترونات التكافؤ حرة الحركة فى البلورة فينشأ عنها عزم مغناطيسى للذرة من الحركة المغزلية لهذه الإلكترونات.

وفى بعض الفلزات يوجد داخلها أغلفة ممتلئة تماماً بالإلكترونات وفى هذه الحالة تساهم الحركة المدارية بالإضافة إلى الحركة المغزلية للإلكترونات فى تكوين العزم المغناطيسى لذرات هذه المواد. ويؤدى ذلك إلى قيم مرتفعة جداً للقابلية المغناطيسية. ويطلق على مثل هذه المواد «المواد الفيرومغناطيسية» مثل الحديد

والكوبلت والنيكل.

١ - ١٠) نظرية العوازل

يلاحظ أن المواد العازلة كهربائيًا تتكون من نويات موجبة التكهرب يحيط بها شحنات سالبة، حيث تنطبق مراكز الشحنة الموجبة والسالبة فى كل جزء منها.

وعندما يؤثر على مثل هذه المواد مجال كهربائى، يحدث استقطاب كهربائى بها وينشأ عنه ثنائيات قطب محلية فى أجزاء المادة المختلفة "Local dipoles".

وفى بعض المواد العازلة تشكل مجاميع الأيونات أو الجزيئات ثنائيات قطب دائمة تظهر حتى فى حالة انعدام المجال الكهربائى الخارجى. ومن البديهى أنه عند التأثير بمجال كهربائى خارجى تترتب هذه الثنائيات القطبية فى اتجاهات توازى المجال الكهربائى. وتتأثر عملية الاستقطاب هذه بعامل التهيج الحرارى ولذلك فهى تعتمد على درجة الحرارة.

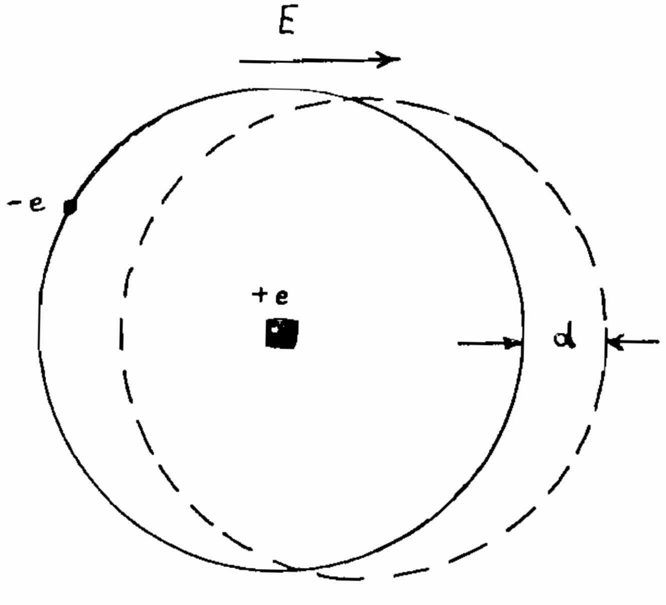
والاستقطابية الاستاتيكية تنقسم إلى ثلاثة أنواع هى:

١ - استقطابية إلكترونية

تحدث بتأثير المجال الكهربائى إزاحة نسبية بين مراكز الشحنات الموجبة والسالبة على الذرة ويتكون ثنائى قطب كهربائى، انظر الشكل [١٠]، عزمه يساوى حاصل ضرب الشحنة فى المسافة بين الشحنة السالبة والشحنة الموجبة.

٢ - استقطابية أيونية

عندما يتركب الجزىء من أيونات فإن خواصها تتأثر بالمجال الكهربائى ويحدث لها إزاحة نسبية. وينشأ نتيجة لذلك تغير فى أبعاد الروابط بين ذرات الجزىء وكذلك فى اتجاهاتها فى الفراغ، مما يتسبب عنه إزاحة مراكز الشحنات السالبة عن مراكز الشحنات الموجبة فى الجزىء، فيحدث الاستقطاب الأيونى.



شكل ١٠ : استقطاب ذرة الهيدروجين فى مجال كهربائى.

٣ - الاستقطابية الموجهة

تتميز بعض المواد بوجود ثنائيات قطب دائمة فيها حتى فى حالة انعدام المجال الكهربائى، وعند التأثير بالمجال تدور محاور ثنائيات القطب هذه لتترتب فى اتجاه

المجال الكهربائى . وينشأ عن ذلك الاستقطابية الموجهة .

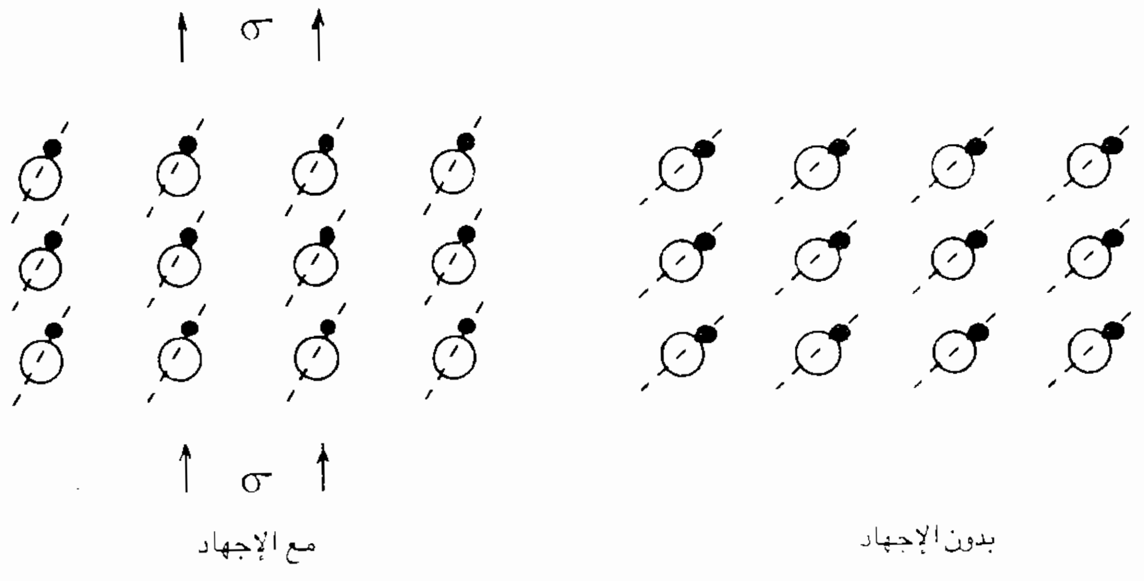
٤ - الخاصية الفيروكهربية
Ferroelectric effeet

المادة الفيروكهربية هى مادة لها استقطاب ذاتى، وبالتالى لها عزم ثنائى قطب كهربائى حتى فى غياب المجال الكهربائى الخارجى . ولا توجد ظاهرة الفيروكهربية فى المواد التى ينطبق فيها مركز تماثل الشحنات السالبة والموجبة على بعضها كما هو الحال فى البلورات الأيونية، أى إن وجود تماثل فى التركيب البلورى شرط ضرورى للحصول على الحالة الفيروكهربية فى البلورة .

والجدير بالذكر، أن ظاهرة الفيروكهربية تختفى عند الارتفاع بدرجة الحرارة إلى درجة مميزة تسمى بنقطة كورى للفيروكهربية (T_C) . وعند هذه الدرجة تحدث زيادة مفاجئة فى ثابت العزل للمادة . وتتحول المادة بعد هذه الدرجة من حالة الفيروكهربية إلى الحالة الباراكهربية (أسوة بما يحدث للمواد المغناطيسية) .

٥ - الخاصية الكهروضغطية
Piezo - electric effect

عندما يؤثر على بلورة ما بإجهاد ميكانيكى، تزاح الذرات من أماكنها، فإذا كان للبلورة مركز تماثل شبيكى (Centro Symmetric Lattice) تكون الإزاحات متماثلة حول مراكز التماثل،وبالتالى، فإن توزيع الشحنات فى البلورة يظل دون تغيير يذكر، ويظل عزم ثنائى القطب الكهربائى دون تغيير . هذا النوع من البلورات لا تظهر فيه خاصية الكهروضغطية . أما إذا اعتبرنا بلورات ذات تركيب غير متماثل كما فى شكل [١١] فإن الأيونات تترتب على شكل أزواج تكون ثنائيات قطب .



شكل ١١ : الظاهرة الكهروضغطية .

وعندما نؤثر على هذه الأيونات بإجهاد ميكانيكى يحدث تشويه يسبب الإزاحة النسبية للايونات بشكل غير متماثل، وبذلك تتغير القيمة الكلية لعزم ثنائى القطب الكهربائى فى البلورة .

تسمى هذه الظاهرة بالكهروضغطية نسبة إلى حدوث استقطاب كهربائى ناشىء عن الإجهاد الميكانيكى.

ويلاحظ أن هذه الظاهرة انعكاسية، أى أن تغيير استقطاب المادة كهربائيًا يحدث أيضًا بداخلها انفعالاً ميكانيكيًا. ولذلك تستخدم هذه المواد كمحولات للطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية والعكس بالعكس.

الفصل الثانى
فيزياء مواد البلورات السائلة

٢ - ١) قصة اكتشاف البلورات السائلة

يعود اكتشاف المواد فى الحالة البلورية السائلة إلى بداية القرن التاسع عشر الميلادى، خاصة بعد تطور أجهزة التكبير المجهرية "Optical microscope" ، حيث كان الباحثون يستعملون المجهر البصرى فى البحوث العلمية لدراسة خواص المواد المختلفة وتركيبها الدقيق. ففى عام ١٨٥٣م، اكتشف العالم الألمانى رودلف فيرشو "Rudolf Virchow" مادة الميلين "Myelin" التى تغلف الأعصاب. هذا العالم هو أول من لاحظ تكون المادة فى طورها الفيزيائى البلورى السائل خلال المجهر البصرى، ولكنه فى ذلك الوقت لم يكن على يقين أن هذه المادة (الميلين) تتواجد فى حالتها البلورية السائلة.

وفى عام ١٨٨٨م، استطاع العالم الألمانى أوتو ليهمان "Otto Lehmann" المتخصص فى دراسة درجات انصهار المواد، من تعريف للمادة وهى فى حالتها البلورية السائلة، خاصة أنه كان على دراية تامة بحالات التبلور فى المادة باستعمال المجهر البسيط.

وفى هذه الأثناء كان زميله العالم النمساوى فردريك رينتزير "Friedrich Reinit-zer" يحضر بعض المركبات العضوية تسمى بنزوات الكوليستريل "Cholesteryle benzote".

وقد لاحظ العالم فردريك رينتزير خصائص غريبة تميز هذه المركبات، خاصة بالقرب من درجة انصهارها. وتم ذلك من خلال دراسته المجهرية لتأثير التسخين على التركيب الكيميائى لهذه المركبات. إلا أنه كان يعلم أن هذه المواد النقية قد تتغير أطوارها من كونها فى الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة عند درجة حرارة خاصة ومميزة. والجدير بالذكر أنه شاهد خلال تجاربه تحولات غير مألوفة، أهمها أن هذه المركبات لها نقطتان للانصهار باختلاف باقى المواد المعروفة فى ذلك الوقت، إحداهما عند درجة حرارة ١٤٥,٥ْم وتتكون عندها سحب من المركب فى طورها السائلى، والأخرى عند درجة حرارة ١٧٨,٥ْم وعندها تصبح المادة فى حالة سائلة تماماً. وعند التبريد تعود المادة لوضعها الطبيعى.

واهتم رينتزير بهذه الملاحظة وأرسل على الفور بعضاً من هذه المركبات إلى العالم أوتو ليهمان لفحصها. وقد توصل الأخير إلى أن سبب السحابة السائلية عند درجة الحرارة ١٤٥,٥ْم هو تكون طور جديد للمادة الذى سمى بالطور البينى "mesophase".

واستطاع ليهمان بواسطة المجهر البسيط أن يثبت أن تواجد المادة فى هذا الطور البينى يؤدى إلى حدوث استقطاب للضوء، وذلك بعكس السائل العادى الذى يظهر بلون أسود عند مشاهدته خلال مستقطب بصرى متعامد. أما تواجد المادة فى هذا الطور البينى فيجعلها تضاء عند مشاهدتها خلال المستقطب بألوان زاهية.

ولكى نتفهم ما حدث، نعلم أن المصادر الضوئية المختلفة مثل الشمس أو المصابيح الكهربائية التقليدية، تنتج خليطاً من الموجات الكهرومغناطيسية، التى تتذبذب فى كل الاتجاهات. فإذا تذبذبت هذه الموجات الضوئية فى مستوى واحد يقال إن الضوء مستقطب. ويمكن للمرء اختيار مستوى محدد للاستقطاب من الحزمة الضوئية، ويتم ذلك باعتراض الحزمة الضوئية بواسطة ما يسمى بمستقطب بصرى (مثل قطعة البلوريد التى لا تسمح بمرور جزء من أشعة الشمس من الوصول إلى العين).

وفى حالة مرور الضوء المستقطب خلال مستقطب أخر فى وضع عمودى على المستقطب الأول يسمى المحلل الضوئى "Optical analyzer" فلا يمر الضوء ولا يتغير الوضع إلا إذا وضعت مادة شفافة بين المحلل والمستقطب البصريين. والجدير بالذكر أن العالم ليهمان كان يعرف مقدماً أن المواد الصلبة فى حالتها البلورية تستطيع تغيير مستوى دوران الاستقطاب للضوء، بحيث تجعل الضوء ينفذ كاملاً خلال المحلل الضوئى؛ خاصة أن الضوء يتكون من مجال كهرومغناطيسى متذبذب. وعندما تنتقل هذه الموجات عبر المادة البلورية فإنها تجعل الإلكترونات المكونة لذراتها وجزيئاتها تتذبذب ذهاباً وأياباً. ولكن هذه الاستجابة غير لحظية، وقد تبطئ من سرعة انتشار الموجات الضوئية خلال المادة. هذه الظاهرة تسمى «الانكسار الضوئى». وفى بعض المواد التى تعتمد خصائصها الفيزيائية والكيميائية على ترتيب ذراتها وجزيئاتها، يكون تأثير التداعى الإلكترونى مختلفاً باختلاف اتجاهات الاستقطاب الضوئى. ولسرعة الضوء قيمتان تعتمدان على درجة الاستقطاب الضوئى بالنسبة للبلورة. هذا ما يؤدى إلى ما يسمى ظاهرة «الانعكاس الثنائى» التى تشاهدها مثلاً فى بلورات الكالسيت. وبالطبع التغيير فى معامل الانكسار للبلورات يتأثر أيضا بدوران مستوى الاستقطاب الضوئى، مما يجعل الضوء يعبر خلال المحلل الضوئى والنتيجة هى الحصول على انكسار ضوئى مزدوج "Briefringenee"وتكون الصورة ملونة وزاهية.

ومن المعروف لدينا الآن، أن البلورات لها تركيب جزيئى محدد بها يعتمد على تكرار النموذج ثلاثى الأبعاد للذرات أو الجزيئات. وهذا عكس ذرات أو جزيئات السوائل المختلفة، فليس لها أى ترتيب. وبالتالى هذه الجزيئات والذرات تكون حرة فى حركتها العشوائية. وللسوائل معامل انكسار واحد، وهذا يجعلها تظهر سوداء اللون (معتمة) خلال مشاهدتها من خلال المحلل الضوئى.

ولذلك فقد اندهش ليهمان وورينتزير عندما شاهدا ظاهرة الانكسار المزدوج والهدب الملونة تظهر من المحلل الضوئى عند استعمال مادة بنزوات الكوليستريل فى طورها البينى السائلى.

وقد بذل هذان العالمان الجهود المضنية لمعرفة خصائص هذه المواد فى طورها البينى البلورى السائل. واخيراً توصل «ليهمان» إلى مضمون بسيط وهو أن المادة غريبة. وفى عام ١٨٨٩م استأنف ليهمان دراسته مرة ثانية على هذه المواد وهو على قناعة تامة بأنه يدرس البلورات الرخوة جداً. ومنذ ذلك الوقت اطلق اسم «البلورات

السائلة » على هذه المواد.

والآن، دعنا نتساءل: كيف برزت أهمية مواد البلورات السائلة؟

فى عام ١٩٢٤م برزت أهمية المواد البلورية السائلة، عندما نجح العالم الألمانى دانيال ڤورلاندر. "Daniel Vorlander" فى دراسة أشكال الجزيئات المكونة للمواد فى الطور البلورى السائل، فقد اكتشف أن هذه الجزيئات تأخذ شكلاً يشبه « القضيب » بدلاً من كونها أشكالاً كروية، كما هو الحال فى جزيئات المواد البلورية التى تتماسك معاً فى مكان محدد وتتركب بطريقة خاصة يكون لكل جزئ وضع خاص يسمى النظام الموضعى "Positional Order" . أما الجزيئات وهى على شكل قضبان، فبالإضافة إلى أن لها تركيبًا موضعيًّا يكون لها أيضاً ترتيب اتجاهى "Orientional Order".

ومن المعروف أن البلورت العادية تنصهر عندما تتغلب الطاقة الحرارية المؤثرة على قوى الترابط الجزيئية، وبالتالى ينكسر التركيب البلورى وينهدم الترتيب الجزيئى المكانى.

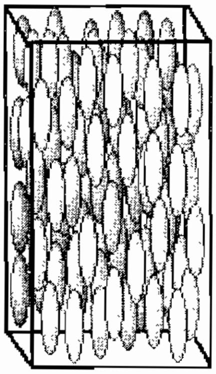
عندئذٍ، تتحرك الجزيئات بحرية تامة وبطريقة عشوائية.

أما فى حالة الجزيئات على شكل قضبان فقد تحدث أشياء أخرى مختلفة. فمثلاً، عند درجة حرارة معينة، قد يكون مقدار الطاقة الحرارية غير كافٍ لتدمير الترتيب المكانى للجزيئات، ولكنها قد تكون كافية لتغيير القوى الجزيئية المسئولة عن الترتيب الاتجاهى. بالطبع هذا ما شاهده العالم « رينتزير » فى تجربته التى وصفت سابقاً، عندما وجد أن انصهار بلوراته تظهر من خلال سحابة سائلية. فى هذه الحالة تكون الجزيئات مخططة لأعلى فى اتجاه موازٍ تقريباً بعضها لبعض، ولكنها موزعة عشوائياً فى الفراغ المكانى.

والجدير بالذكر، أن الترتيب الاتجاهى يمتد ليغطى ملايين الجزيئات، وعلى ذلك فإن توحيد الاتجاه يسمى بالموجه "director".

والآن، ما الخواص الفيزيائية لتلك المواد فى الحالات الطورية البينية المختلفة؟

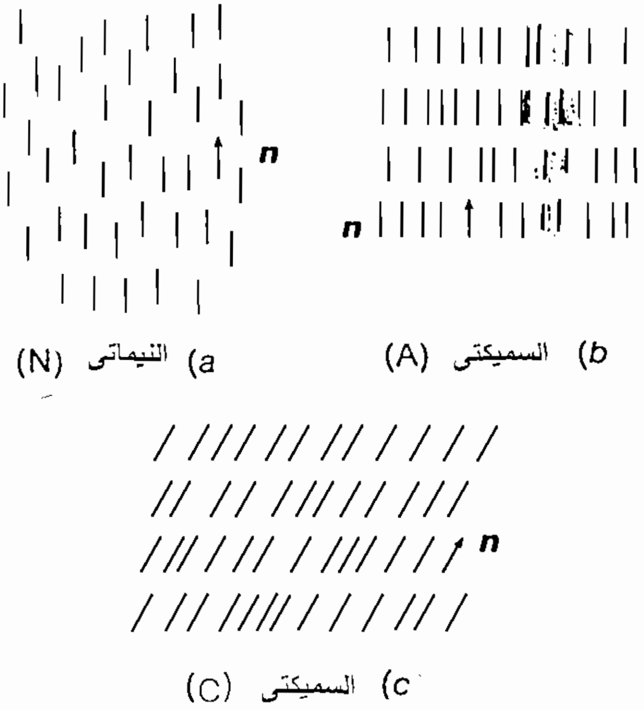
فغياب الترتيب المكانى للجزيئات يغير من بعض الخواص الفيزيائية، مثل: تغيير قيمة معامل انكسار المادة، الذى يعتمد فى هذه الحالة على الاتجاه عند لحظة القياس بالنسبة للموجه. هذ الطور يجعل المادة مرئية عند النظر إليها عبر المحلل الضوئى. والملاحظ أنه عند زيادة التسخين فإن هذا الطور قد يصل إلى درجة تؤدى إلى تهدم الترتيب الاتجاهى للجزيئات عندما تصبح البلورات السائلة مجرد سائل عادى. وغالباً تسمى درجة الحرارة تلك « بدرجة الحرارة الظاهرية »، وهى تناظر الانتقال من السحابة السائلة إلى السائل الظاهرى. وعند التبريد، تحدث عملية عكسية، حيث تترتب الجزيئات (قضيبية الشكل) فى ترتيب مائع التركيب "Ordered Fluid Structure" . هذا التركيب المبسط للبلورات السائلة يسمى « الطور النيماتى » "Nematic Phase". انظر شكلى [١٢]، [١٣] .





صورة توضح الطور النيماتى
للبلورات السائلة

شكل ١٢ : الطور النيماتى .



**شكل ١٣ : الترتيب الجزيئى فى الطور النيماتى
والسميكتى C , A فى البلورات السائلة.**

ومادة الكوليستريل هى نوع خاص من المواد فى الطور النيماتى اللاانطباقى "Chiral Nematic Phase"واللاانطباقى هنا تعنى أن الجزيئات (قضيبية الشكل) تماثل اليد بدلاً من الشكل المسمارى الحلزونى .

والملاحظ أنه عندما تتلامس الأشكال المسامية المجاورة، فإن ذلك يؤدى إلى دوران بعضها لبعض، وهذا ما يحدث فى حالة الجزيئات فى الطور النيماتى، فتستطيع دوران بعض الجزيئات القريبة بهدوء، هذه الخاصية تجعل موجه الجزيئات ذاته يلف بطريقة حلزونية. وغالباً تكون عملية الدوران الحلزونية الكاملة مساوية للطول الموجى للضوء المرئى.

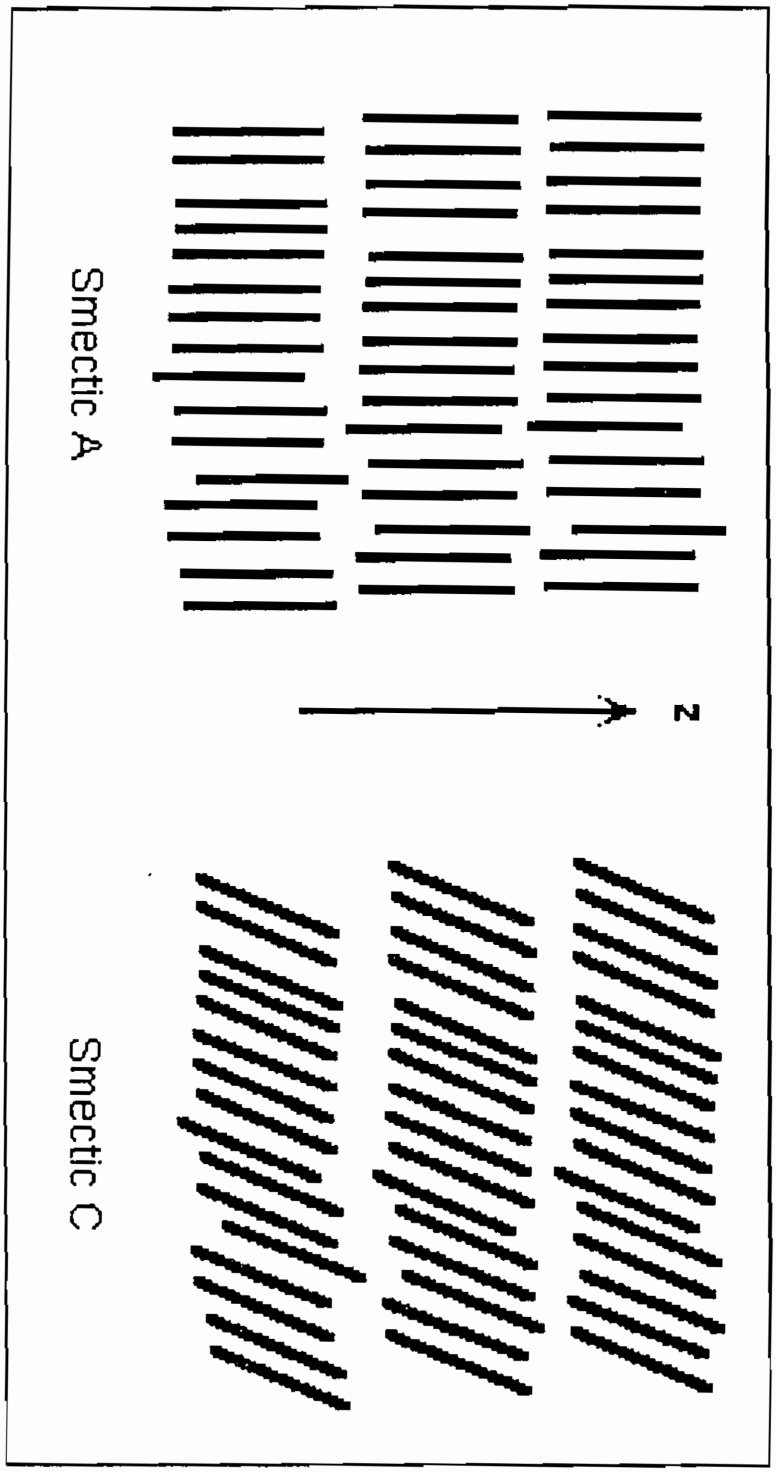
وهذا يعنى أن الطول الموجى المنعكس بواسطة المادة فى طورها النيماتى يعتمد أساساً على عدد الدوران فى الطول المحدد. وهذا يشبه تماماً عدد الخطوط فى المحزوز Grating المستخدم فى عملية الحيود الضوئى "Diffraction Grating" التى تحدد الطول الموجى المنعكس من المحزوز.

وتكريماً للعالم « رينتزير » أول من شاهد الطور النيماتى اللاانطباقى فى مادة بنزوات الكوليستريل فقد أطلق العلماء على هذه الأطوار اسم « أطوار الكوليستريل ». ويمكن حالياً إنتاج هذه المواد ذات الأطوار الكوليسترلية على مستوى تجارى، حيث أن انعكاسيتها المنتخبة للضوء تكون مرتفعة. وبزيادة درجات الحرارة لهذه المواد يقل درجة لف الموجه. وهذا يؤدى إلى تغيير فى انعكاسية الألوان الطيفية. ولذلك تستخدم هذه الأنواع من البلورات السائلة فى الترمومترات وكذلك فى تغيير ألوان الأجسام الحرارية.

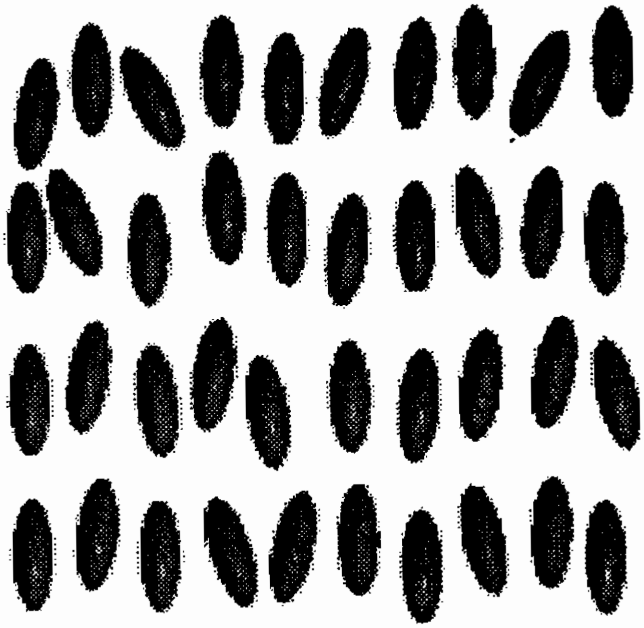
وهناك أنواع أخرى من مواد البلورت السائلة أطوارها البينية أكثر تعقيداً. على سبيل المثال هناك مواد عند تسخين بلورتها فإن ترتيب جزيئاتها المكانى لا ينهدم جميعه، بل قد تتشكل بدلاً من ذلك الطبقات الجزيئية، بحيث تتفاعل جزيئات طبقة ما مع جزيئات الطبقة الأخرى، مما يجعل هذه الجزيئات تتحرك عشوائياً خلال كل طبقة.

هذه الأنواع من المواد التى تحفظ الترتيب المكانى للجزيئات تسمى أطوارها « الاطوار السميكتيكية ». "Smectic Phases" انظر شكلى [١٣ ب، جـ] وشكلى [١٤، ١٥] . وفى الحقيقة، تتواجد البلورات السائلة فى أطوار بينية متعددة، ويتضمن ذلك طرقًا عديدة مختلفة من الترتيب الجزيئى فى حالة وسط بين الترتيب التام فى الحالة البلورية وعدم الترتيب فى الحالة السائلة. وتمثل هذه التراكيب الجزيئية المعقدة نوعًا من « العمارة الجزيئية » .

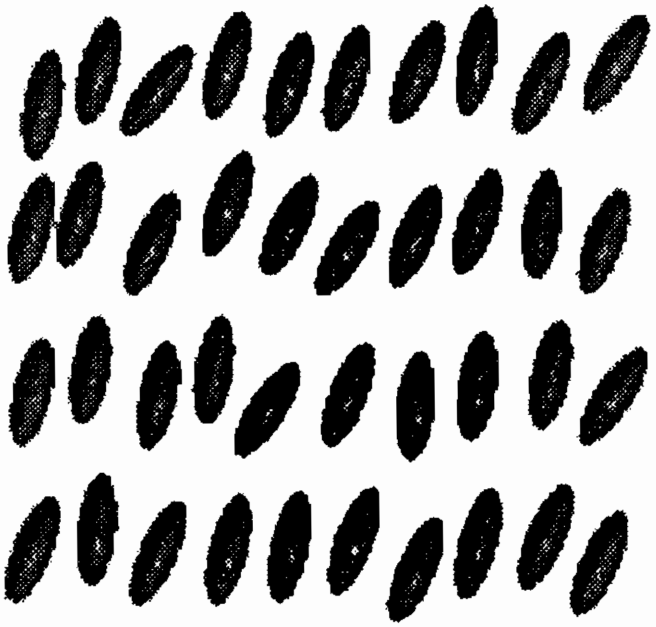
والآن وبعد الجهود المضنية فى مجال البحث ، نحن على عتبة فهم أهمية هذه الأنواع من التأسيس الجزيئى فى الطبيعة، على سبيل المثال وجد أن جزئ الـ DNA الحامل للشفرة الوراثية للكائنات الحية يمثل طوراً نيماتيًّا. وحالياً يمكن التمييز بين هذه التراكيب الجزيئية فى أطوارها البينية باستخدام مجهر بعدى مستقطب للضوء، ويتم ذلك بالنظر إلى نماذج التداخل الهدبى.



شكل ١٤ : الأطوار السمكتية C,A.



طورسميكتى A



طور سميكتى C

شكل ١٥ : التركيب الجزيئى فى الاطوار السميكتية C,A .

والتركيب المختلف للمواد البلورية السائلة ينتج عنه أنسجة مختلفة المساحات، وتأتي هذه الاختلافات على الرغم من أن اتجاه توحيد الجزيئات يبقى دون تغير خلال المسافات القصيرة، هذه المساحات الصغيرة تسمى الأنطقة "domains". وهذه الأنطقة تتغير عشوائياً خلال المسافات الكبيرة.

والجدير بالذكر، أنه عندما يلتقى قطاعان لهما موجهان مختلفان، فتتكون بذلك تشوهات (مثل ما يحدث فى المواد المغناطيسية) وتعتمد درجة التشوه على نوع التأسيس الجزيئى فى الطور البينى المميز للبلورة السائلة.

ويلاحظ عند مشاهدة الضوء المستقطب خلال مجهر بصرى، نتيجة وضع البلورة السائلة بين مستقطبين للضوء ومتعامدين أن التغيير فى معامل انكسار المادة يقسم الضوء وينتج عن ذلك ألوان زاهية. بينما تظهر التشوهات على هيئة خطوط سوداء أو نقط أو تواصل بين الأنطقة، ويحدث العكس فى حالة التصوير الفوتوغرافى الذى يبين أمثلة جميلة كلاسيكية لتكون الأطوار النيماتية والسميكتية.

والمواد البلورية السائلة لها عديد من الخصائص المفيدة، وبعض من هذه المواد تتأثر بتطبيق المجالين الكهربائى أو المغناطيسى. وفى هذه الحالة تعيد اتجاهها الجزيئى، بحيث يكون موازياً أو عمودياً على اتجاه المجال المؤثر.

وبالتالى يتغير اتجاه الموجه، وهذا يعنى أن تغيير معامل الانكسار يؤدى إلى تغيرات فى الخواص البصرية للبلورات السائلة. ولذلك اقترح الفيزيائيون استخدام هذه المواد البلورية السائلة فى إنتاج أجهزة العرض المرئية التى تستهلك بالطبع طاقة أقل مما فى حالة استخدام أنابيب الشعاع الكاثودى المعروفة.

وخلال العقود الأخيرة تم إنتاج أنواع جديدة من عائلات البلورات السائلة المستقرة من أهمها : سيانوبيفنيز الألكيلى

"Alkylcyanobiphenyis".

وتكون جزيئات هذه المواد على هيئة قضبان مرصوصة مكونة أطواراً نيماتية. وتعتبر هذه المركبات اقتصادية ومثالية، وتستخدم فى الوقت الحالى فى صنع شاشات العرض فى أجهزة العرض المرئية.

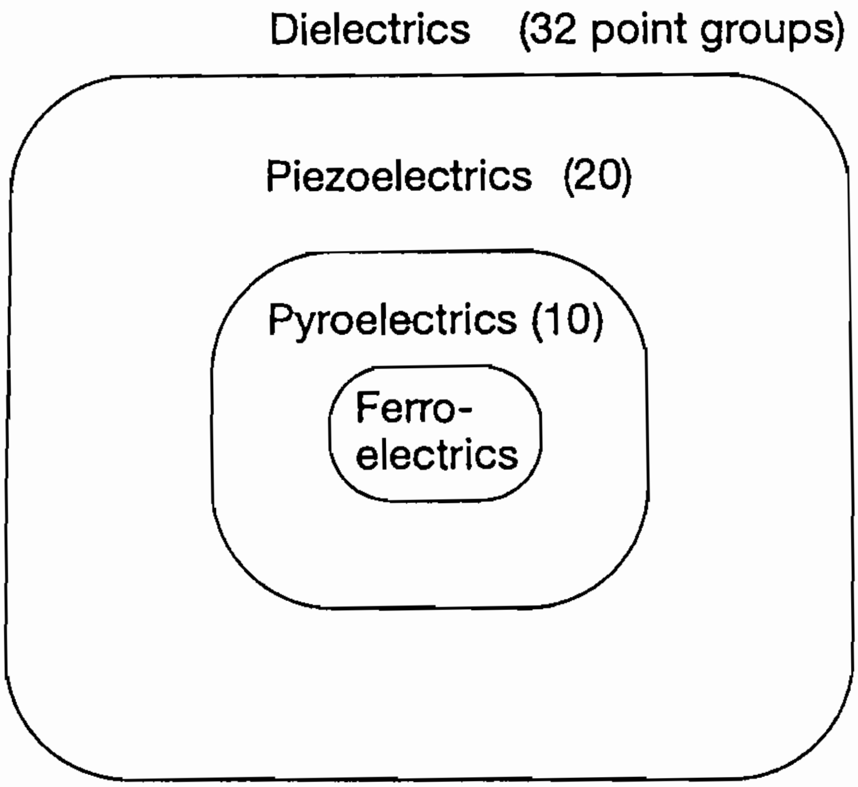
٢-٢) الاستقطابية والخواص الكهربائية للبلورات السائلة

فيما يلى نستعرض أهم الخواص الكهربائية التى تتميز بها مواد البلورات السائلة والتى تمثل بالظواهر الكهروضغطية (piezo-electric effect) والكهروحرارية (pyro-electric effect) وكذلك الفيروكهربية (ferro-electric effect). فكما ذكرنا فى الفصل الأول.. فإن هذه الخصائص الكهربائية الثلاث تميز البلورات الصلبة. ولكن السؤال المهم الذى يطرح نفسه هو: هل تنتقل هذه الخواص إلى المواد فى الحالة السائلة؟

ونقطة البداية فى مناقشة هذا الموضوع تتعلق بكيفية سلوك المادة عندما نطبق عليها مجالاً كهربائيًا خارجيًا. فمن المعروف أن المواد العازلة (غير الموصلة) والتى تسمى العوازل تستجيب جميعها بالطريقة نفسها للتأثير الكهربائى الخارجى المطبق عليها، حيث إن هذه المواد تستقطب. وقد وجد أن درجة الاستقطاب لهذه المواد تزداد خطياً (على الأقل عند البداية) مع زيادة شدة المجال الكهربائى.

وهذا يعنى أن الاستقطاب يغير إشارته مع المجال. وقد تقل درجة الاستقطاب إلى الصفر عند زوال تأثير المجال الكهربائى الخارجى. والاستثناء عن هذا السلوك يكون نادراً أو نسبياً. ولكن فى مثل هذا الاهتمام العلمى والتكنولوجى، فإن بعضاً من هذه المواد تعتبر نموذجية. ويوجد نوعان من هذا الاستثناء وهما المواد فى حالة التبلور الصلب التى تستطيع بسهولة الانفراد بأسس التناظر، كما هو موضح فى الشكل [١٦]. فمن خلال اثنين وثلاثين مجموعة نقطية بلورية من هذه الأنواع، نجد أن حوالى عشرين مجموعة تتميز بخاصية الكهروضغطية Piezo-electric.

وهذا يعنى أن المواد التى تنتمى إلى هذه المجموعة البلورية تكتسب خاصية الاستقطاب حتى فى غياب تأثير المجال الكهربائى الخارجى. وعندما يؤثر عليها إجهاد أخر وعادة يكون الضغط، يصبح الاستقطاب خطياً كدالة فى مقدار الإجهاد. وبالتالى يغير الاستقطاب من إشارته. وهذا التأثير الخطى يؤدى إلى انفعال بلورى



شكل ١٦ : تتوزع أنواع البلورات السائلة على ٣٢ مجموعة نقطية تتميز بالخواص الكهربائية للمواد العازلة منها ٢٠ مجموعة لها خاصية الكهروضغطية و١٠ مجاميع لها خاصية الكهروحرارية ومجموعتان لهما خاصية الفيروكهربية.

عند التأثير بمجال كهربائى خارجى (التأثير العكسى) . ومن أهم المتطلبات الأساسية للحصول على خاصية كهروضغطية هو تواجد المادة فى أقل تماثل مركزى . وخلال الاقسام العشرين للمواد البلورية التى تتميز بخاصية كهروضغطية موزعة على مستوى هرمى مرتفع يوجد منها عشرة مجاميع ذوات خاصية كهروحرارية "pyro- electric" . وهذه الخاصية تتميز بأن الاستقطابية تظهر فى المواد فى غياب كل من المجال الكهربائى والضغط الخارجين .

حينئذ ، يقال إن تلك المواد تمتلك استقطابية ذاتية عينية (macroscopic) .

ومن أجل أن تمتلك المواد هذه الخاصية ، يجب أن يتوفر لتركيبها البلورى موجه واستقطابية غير عكسية . وهذا الشرط أيضاً يجب أن يتحقق فى السوائل . ويمكن تعريف الموجه الذاتى بامتلاكه استقطابية عينية . ولذلك يجب التركيز على كلمة عينى ، حيث توجد أمثلة عديدة لسوائل معقدة ولكن تتواجد جزيئاتها مستقطبة . هذه المواد تبين أنواعًا مختلفة من الاستقطاب الذاتى غير المضاف إلى الاستقطاب العينى . وعادة يتواجد الاستقطاب العينى على شكل حُبيبات تلقائية . وهذا يعنى أنها أجزاء ماكروسكوبية تتميز بموجه استقطابى محدد . والجدير بالذكر أن الوسط يتفاعل مع المجالات الخارجية المؤثرة بطريقة مختلفة تماماً ، ويذكرنا ذلك بسلوك المواد المغناطيسية .

وبينما تكون الخصائص المغناطيسية للمواد معروفة لنا منذ قديم الزمان ، إلا أن تعرف المادة التى تكتسب خاصية التكهرب مازال حديث العهد . فالخاصية الكهروحرارية "pyro elcctric" تم اكتشافها عام ١٧٠٠م . وكان أول وصف علمى حقيقى لهذه الظاهرة ، قدمه العالم الألمانى « هوك » عام ١٧٥٦م ، وكذلك العالم الأسكوتلاندى « دافيد برديستر » الذى اهتم بدراسة سلوك عدد كبير من المعادن .

وفى عام ١٨٢٤م اطلق اسم الكهروحرارية على هذه الظاهرة . إلا أن المرء دائماً ينظر إلى أحدث اكتشاف للعلم فى القرن الذى يعيش فيه ، ومفاهيم الفيزياء الحديثة المتاحة حالياً تمكننا من الفهم الحقيقى لهذه الظاهرة . وتاريخياً فإن "Pyro" يرتبط إيمولوجياً بالنار .

وعلى ذلك ، فإن تغيير درجة الحرارة للمادة بمقدار ΔT يسبب ظهور الاستقطاب بدرجة استقطابية P . وبهذه الطريقة تعرف خاصية الكهروحرارية . والشئ الرئيسى الذى يربط هذه المواد بالخاصية الكهروحرارية أنها تمتلك استقطاباً عينياً (ماكروسكوبيا) . أى أن لها ثنائى قطب كهربائى فى غياب تأثير المجال الكهربائى الخارجى .

ومن المعروف عادة أن الأقطاب المشحونة لا يمكن ملاحظاتها لوجود الشحنات الحرة التى تسبب تعادل الأقطاب فى وقت قصير . وبالطبع هذا الحاجز الذى تشكل لايحدث مطلقاً فى مجال المغناطيسية الذى يجعل الظواهر المغناطيسية أكثر بساطة مقارنة بالظواهر الكهربائية المناظرة .

وعلى ذلك نجد أن درجة الاستقطاب P تكون دالة فى درجة الحرارة . حينئذ ، فإن

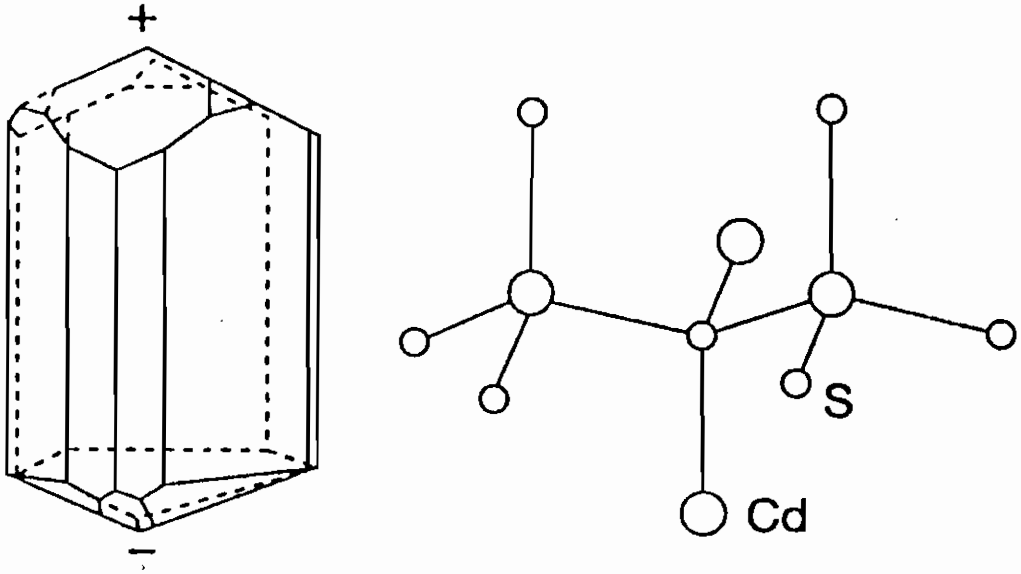
التغيير فى درجة الحرارة يسبب إضافة لدرجة الاستقطاب مقدارها ΔP. وهذا المقدار لايمكن تعويضه بواسطة الشحنات الحرة المتواجدة فى المادة، حتى يتم توزيع الشحنات مرة أخرى والحصول على الاتزان التام. وبالطبع هذه طريقة أخرى لقياس درجة الاستقطاب، حيث يتكامل التيار الناتج من الخاصية الكهروحرارية خلال دائرة كهربائية بعد إشعالها بنبضات الليزر الذى يعمل فى المدى الطيفى للأشعة تحت الحمراء .

والجدير بالذكر، أن ظاهرة الكهروحرارية اكتشفت عام ١٨٨٠م فى فرنسا بواسطة الاخوين بيير وجاك كورى. وكانت لنتائج هذا الاكتشاف أهمية خاصة فى ذلك الوقت خاصة من الناحية الاستراتيجية. وقد استعملت هذه الظاهرة فى تطوير جهاز سونار لرصد الغواصات فى أعماق البحار خلال الحرب العالمية الأولى.

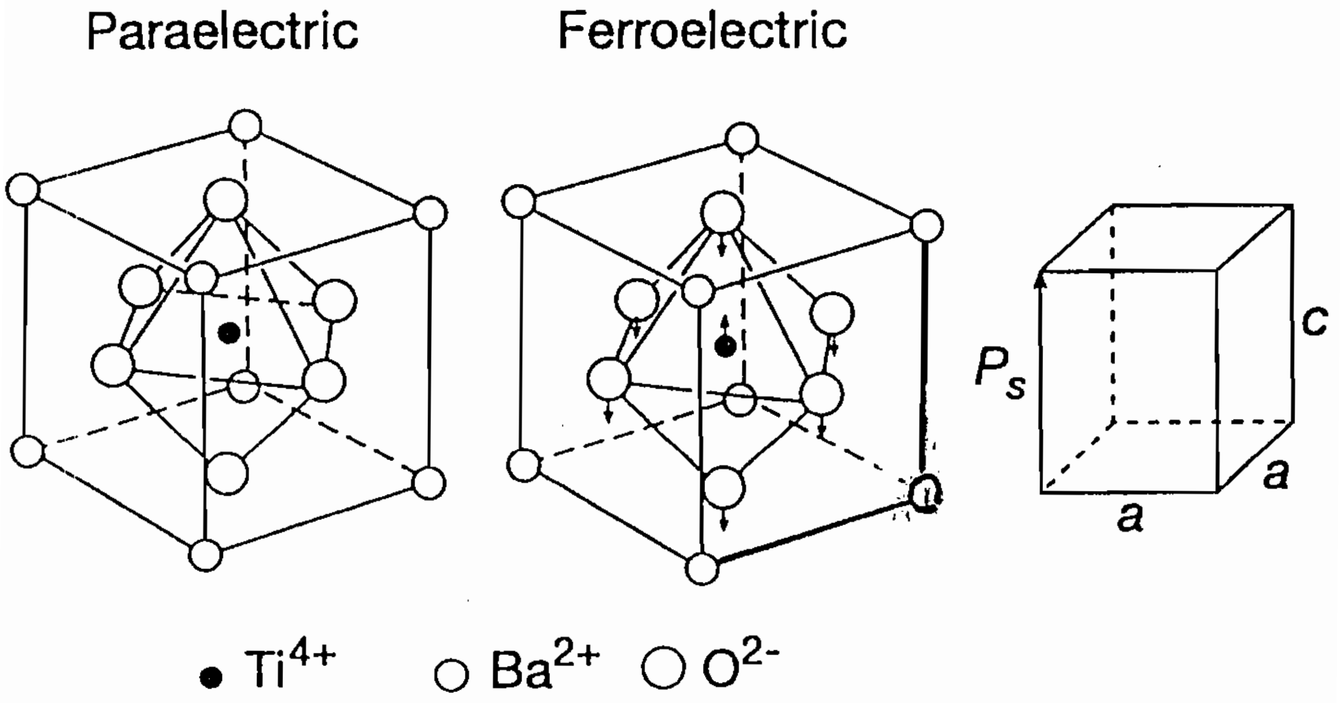
وفى عام ١٩٢٠م تمكن العالم الفيزيائى الامريكى «جوزيف فالاسيك» من اكتشاف خاصية كهربية تتميز بها بعض المواد اطلق عليها اسم «الفيروكهربية». وحديثا يمكن تصنيع تلك المواد، ومن أهمها مادة تيتنات الباريوم "$BaTiO_3$" هذه المادة استخدمت خلال الحرب العالمية الثانية.

وفى بعض المواد التى تتميز بخاصية الكهروحرارية مثل كبريتات الكادميوم، يشاهد عدم وجود تماثل قطبى فى تركيب شبيكتها البلورية. وهذا يتم تأسيسه خلال عملية النمو البلورى، حيث ينعكس ذلك على الهيئة البلورية. والشكل [١٧] يبين القطع كاملة النمو من هذه البلورات وتكوينها فى الجوانب العليا والسفلى.

فإذا، طبق مجال كهربائى خارجى موجه على امتداد وفى عكس اتجاه الاستقطاب، عمليا يكون هذا المجال غير مؤثر على الاستقطاب ذاته الذى يكون حبيسًا داخل الشبيكة البلورية خاصة أنه لا يمكن أن ينعكس. ومن هنا، نرى اختلافًا بين الظواهر الكهربائية والمغناطيسية فى المادة. على سبيل المثال، البرم الذاتى فى المادة المغناطيسية لا يمكن أن تحبس بالطريقة نفسها دخل الشبيكة. إلا اننا، نعتبر هذا التركيب قد تشوه فى زمن قصير على امتداد اتجاه واحد بدلاً من كونه تكعيبيًّا، كما هو موضح فى شكل [١٨] لمادة $BaTiO_3$ تيتنات الباريوم.



شكل ١٧ : الشكل البلورى لمادة كبريتات الكادميوم .



شكل ١٨ : الشكل البلورى لمادة تيتنات الباريوم $BaTiO_3$.

ونتيجة لحالة الاتزان تلك، وعند درجة حرارة الغرفة، يتكون ثنائى القطب البلورى، وعلى امتداد اتجاه رباعى الاضلاع. هذه الحالة بعكس البلورة التكعيبية ولأسباب التناظر ، لا يمكن أن تمتلك هذه المواد استقطابية عينية (ماكروسكوبية) وعلى الأكثر قد تمتلك تمغنطًا عينيًّا فقط. ولكن عند تطبيق المجال الكهربائى بشدة مرتفعة وكافية وفى اتجاه معاكس لاتجاه الاستقطاب P، فيمكن حدوث تشوه داخلى صغير للذرات. وبعكس اتجاه المجال، يحدث تكافؤ طاقى ولكن بعكس التشوه. والمواد التى يسلك الاستقطاب فيها هذه الطريقة تمثل أهمية كبيرة للمجاميع المميزة بخواص الكهروحرارية وتسمى هذه المواد الفيروكهربائية.

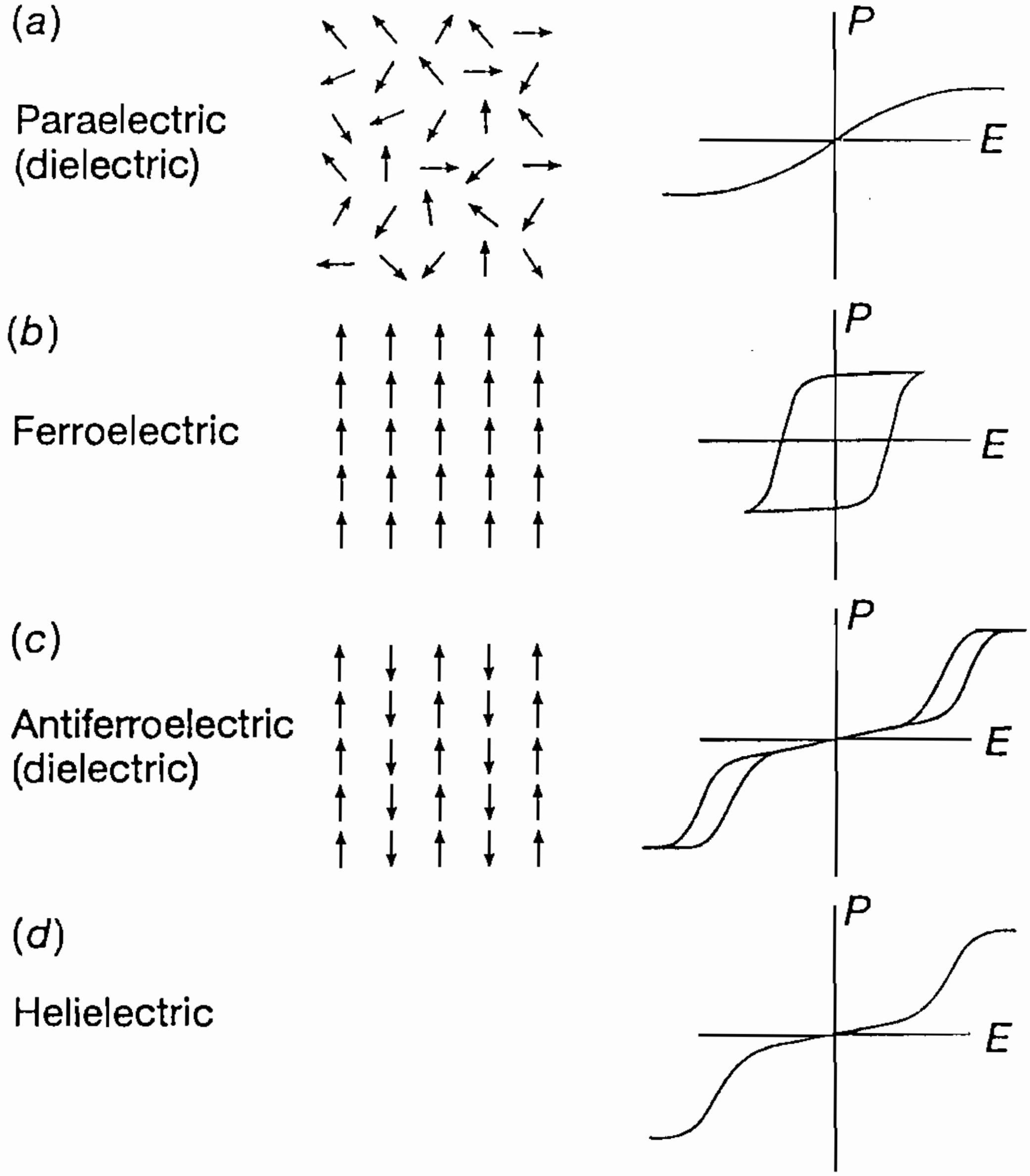
وعلى الرغم من وجود أنواع من المواد الفيروكهربية، فيمكن تمييز خصائصها الأولية عن باقى المواد، ليس فقط لانها تمتلك استقطابية عينية (ماكروسكوبية) بل أيضاً لوجود وضعين مستقرين لها فى غياب المجال الكهربائى.

هذا بالإضافة إلى أن الاستقطاب ينعكس بين هذين الوضعين عند تطبيق المجال الخارجى. وهذا يتشابه مع المواد الفيرومغناطيسية، فالبلورات الفيروكهربية وفى غياب المجال الخارجى تبين أنطقة (domains) ذات استقطابية متجانسة، وتتوزع هذه الأنطقة بطريقة تجعل الاستقطابية $\Delta p=o$، (أى أن لها كثافة شحنة مساوية للصفر). وعلى العكس تماماً، فالمواد التى لها خاصية الكهروحرارية لا يكون لبلورتها أى أنطقة وتعتبر فى حد ذاتها ذات نطاق وحيد كلما كانت البلورة غير ملفوفة (Twined) .

ومما سبق يمكن القول أن المواد المستقطبة هى المواد التى تتميز بوجود ثنائى القطب الذاتى بها. على سبيل المثال، السائل تكون جزيئاته ثنائى القطب، والمواد الصلبة تكون ثنائى القطب موزع عشوائياً، وبأى نوع من الترتيب، ويكون لها اثنتان من الشبيكات الفرعية "Sublattices" . كل منها ذو استقطاب متجانس ولكنه معاكس فى الاتجاه ويتعادلان معاً. وبالتالى تصبح المادة غير فيروكهربية.

وما عدا المواد التى لها خاصية كهروحررية، يعتبر المعامل (P-E) (حيث P درجة الاستقطاب و E شدة المجال الكهربى المطبق) هو البصمة الفعلية التى تقسم على أساسها المواد، كما أنه يميزها فى التطبيقات البيولوجية. وشكل (١٩)، يوضح سلوك المواد المستقطبة فى وجود مجال كهربائى شدته E، وذلك برسم الاستقطاب P كدالة فى شدة المجال E.

وفى الشكل (١٩أ) ، نرى أن ثابت العزل يستجيب خطياً مع زيادة درجة الاستقطاب P، إلى أن يصل إلى قيمة التشبع عند شدة مجال كهربائى مرتفعة. ومن حيث المبدأ، هذا السلوك هو نفسه فى حالة وجود ثنائى قطب موضعى (Local)، فيما عدا تلك المواد التى لها ثنائى قطب موضعى (مكانى) ذو القيمة المشبعة العالية نتيجة الاستقطابية الموجهة، مقارنة بالقيمة المناظرة الناتجة عن الإزاحة الاستقطابية، كما أن ثابت العزل لهذه المواد يعتمد بشدة على درجة الحرارة التى تحدث تهيجًا حراريًّا عكسيًّا "Thermal agitation Counteracts".



شكل ١٩ : منحنى الاستجابة الذى يوضح العلاقة بين درجة الاستقطاب P وشدة المجال المطبق E للمواد الآتية :

أ - الباراكهربية.

ب- الفيروكهربية.

جـ - ضديد الفيروكهربية.

د- الحلزونية الكهربية.

والجدير بالذكر، أنه فى حالة إعادة التصفيف لثنائى القطب على امتداد المجال، وإذا كانت الجزيئات تعانى من نقص فى ثنائى القطب الدائم، تكون الاستقطابية المكانية المحتثة غير معتمدة على اتجاه المجال أو درجة الحرارة.

وقد تكون جزيئات ثنائى القطب مصففة تلقائياً، عند درجة حرارة محددة (درجة حرارة كورىّ) وفى وضعية استقطابية متجانسة. وعند درجة الحرارة تلك، تكون القابلية المغناطيسية "magnetic Susceptibility" $\chi = \frac{dp}{dE}$ ذو قيم كبيرة جداً وتعتمد بشدة على التغيير فى درجة الحرارة.

عند هذه النقطة، دعنا نصف ظاهرة أخرى هى «ظاهرة عدم الاستقطاب» فى غياب تأثير المجال الكهربائى الخارجى. فمن المعروف لدينا، أن قيمة القابلية المغناطيسية للعوازل تكون مرتفعة وتعتمد بشدة على درجة الحرارة، كما هو الحال فى المواد المتساحتة كهربائياً "Paralectric" .

والسؤال الآن: هل حقيقة يوجد انتقال فى هذه المواد من الوضع الرتيب أم لا؟ فالملاحظ أن المادة التى لها خاصية كهروحرارية، تتميز بالمنحنى نفسه بين الاستقطاب وشدة المجال الكهربى (P-E) للعوازل العادية، لأن تأثير المجال الكهربائى المطبق يسبب انتقالاً خطيًا نقيضًا للتأثير الكهروضغطى "The Converse Piezoelectric"، والذى يؤدى بالتالى إلى الاستقطاب الخطى.

والشكل [١٩ب] يبين منحنى الاستجابة غير الخطية للمواد الفيروكهربية. فالوضعان المستقران P- ,P+، عند مجال شدته صفر، يتكون عندهما منحنى التخلفية الذى يوضح النقط الحرجة التى يتغلب عندها المجال الخارجى من أجل تحديد نقطة الانقلاب من وضع إلى آخر، ومنحنى الاستجابة للوضع (ضديد) الفيروكهربى موضح فى الشكل (١٩جـ)، حيث تكون الاستقطابية العينية (الماكرسكوبية) الابتدائية مساوية صفراً كما هو الحال فى العوازل التقليدية.

عندئذ ، تكون الدالة (P-E) علاقة خطية كما هو موضح بالشكل [١٩أ] والواضع أنه، حتى عند البداية وعند النقطة الحرجة المحددة بأحد استقطابات الشبيكة تنقلب وتتحول فى الاتجاه إلى النقطة الأخرى. فى هذه الحالة يفترض أن المجال الخارجى مطبق على امتداد اتجاهات الشبائك الفرعية "Sublattices". والشىء المميز لإطار التخلفية المضاعف "Double hysteresis loop" كشف عن وجود اثنين من الشبائك (كما يفترض فى الحالة ١٩أ) وعند التوزيع العشوائى لثنائيات القطب. وعند الحدود، وعندما تنكمش إطارات التخلفية إلى خطوط رقيقة (كما هو الوضع الموضح فى الشكل ١٩د) نحصل على نوع خاص من منحنى الاستجابة.

وطبقاً للتشابه فى العرض السابق، فإن المواد الغيرفيروكهربية تنتمى إلى العوازل غير المميزة والتى تصنف خارج المجموعات العشرين من المواد الكهروضغطية التى تحدثنا عنها سابقاً.

فى هذا الصدد، يوجد ميل أكيد لإيعاز كل شىء إلى السلوك الاستقطابى

الفيروكهربى، إلا أن هذا المفهوم عادة غير دقيق، خاصة لأن كلمة الكهرو-حرارية ليست موصوفة فيزيائياً بشكل جيد كدالة فى الاستقطاب، بل نتيجة للتأثير الحرارى، هذا يؤدى إلى بلبلة عند استعمال ظاهرتى الكهروضغطية والكهروحرارية، حيث يجب أن تستخدم هذه الكلمات بالدقة نفسها والحرص على التطبيقات التكنولوجيا المرتبطة بهما. ووجود وضعين للاستقطاب (كما هو موضح بالشكل ١٩ب) يكون مؤثراً تكنولوجياً، حيث إن المواد الفيروكهربية يكون لها أساساً خصائص الذاكرة مثل المواد الكهرومغناطيسية. والحقيقة فى ذلك أنه لم يتم حتى الآن تطوير معدات ذاكرة من المواد الفيروكهربية، حيث أن التحول بين صفى الاستقطاب يكون مرتبطًا عادة بتغيير التشوه فى الشبيكة. وهذا يؤدى بالتالى إلى التداعى البلورى.

وبهذا المنطق، تم اكتشاف الظواهر الكهربية نفسها فى السوائل . وهذا يكفى لحل المشكلة الثانية لأن المشاكل الملازمة لمواد الحالة الصلبة الفيروكهربية لها خصائص غريبة. هذه الخصائص غير مكتشفة حتى الآن؛ نظراً لآن الخصائص الحرارية (الكشاف الحرارى) والكهروضغطى (عند قيم مرتفعة لثابت العزل)، بالإضافة إلى أن تلك المواد تكون مفيدة فى التطبيقات التى تعتمد على الخاصية الكهروبصرية، حيث تستعمل فى حاسبات الجيب وفى مجال البصريات غير الخطية وكذلك التوليد التنغيمى الثانى "Second harmonic generation".

٢-٣) الاستقطابية فى السوائل

الآن، دعنا نتساءل: هل تستطيع السوائل تكوين ثنائيات القطب لتصبح فيروكهربية أو كهروضغطية؛ على سبيل المثال، إذا ركبنا محلولاً رغويًّا "Acoltoidal Solution" من جسيمات صغيرة من تيتنات الباريوم $BaTiO_3$ الفيروكهربية. هل يكون السائل فيروكهربيًّا؟ والإجابة لا. لا تكون السوائل فيروكهربية.

فى هذه الحالة تكون استجابة السائل للمجال الكهربائى على الصورة الموضحة فى الشكل (١٩أ). هذا بالفعل حقيقى لأن السائل له قيمة مرتفعة للقابلية المغناطيسية للعازل، ويجب أن نطلق عليها اسم التساحت الكهربائى الفائق "Super Paraelec-tric".

وبالمثل هذا التساحت يطلق على المحاليل العالقة من جسيمات فيرومغناطيسية والتى لا تبين أى سلوك تجميعى. فالسوائل متباينة الاتجاهات لا يكون لها استقطابية فى أى اتجاه؛ لأن الدوران الممكن هو عملية متناظرة، وهذا بالطبع لا يعتمد على نقصان المراكز العكسية فى السوائل، أى إنها تكون لا انطباقية "Chiral" أو لا. ولذلك، يمكننا تقليل التناظر والحصول على سوائل متباينة الخواص فى النواحى الموضعية والاتجاهات . أى التحول إلى البلورات السائلة. ومن أجل فحص ظهور ظاهرتى الفيروكهربية والكهروحرارية بطريقة مقبولة، فمن الطبيعى أن السائل وسط متناح موحد الخواص فى جميع الاتجاهات "isotropic" وجزيئاته تكون ثنائى القطب التى تبين استقطابية أثناء السريان، نظراً لأن معامل المرونة القاصى يقلل من التناظر وجزئياً يقلل من ترتيب ثنائيات القطب، وهذا بالطبع يهدم العشوائية. فإذا كان

السائل لانطباقى (مرآوى) فسيكون مستقطباً. ولكن لا تعتبر هذه السوائل كهروحرارية، إلا أنها قد تكون ثنائية الانكسار "bireferegener".

ومن الواضح أن هناك مزيداً من الاهتمام العلمى والتكنولوجى للتأثيرات الاستقطابية فى انسياب السوائل، خاصة السوائل البيولوجية التى تكون جميعها لاانطباقية "Chirality".

أما الأنواع الأكثر شيوعاً من السوائل غير المتناحية والمتباينة فى الخواص المكانية والاتجاهية "anisotropic liquid" فتسمى البلورات السائلة متوازية التوجه "Nematic liquid crystal" كما هو مبين بالشكل [١٢]. هذه السوائل ذات أبعاد ثلاثية وتشبه جزئياتها بالقضبان العادية، كما أوضحنا سلفاً، حيث إنه طبقاً لتفاعلات ڤان درڤال وستيرك المعروفة تجعل هذه القضبان متوازية مكانياً. هذا الاتجاه المكانى يفضل أن يكون تقليدياً ويمثل بمتجه الوحدة n (r) ويسمى بالموجه. وهو نوع من محور التماثل المكانى، حتى إذا كان جزىء وحيداً غير متماثل فى الشكل والأقطاب "Polarity" . هذه التأثيرات فى المتوسط تؤدى إلى دوران سريع حول محورها الأعظم، وتوزع بالتساوى عند الرأس والذيل. ولذلك فالطور المتوازى المكانى (النيماتى) "Nematic phase" له تماثل أسطوانى الشكل حول الموجه ويكون ثابتاً "invariant" تحت تغيير الإشارة فى الموجه n ($n \rightarrow -n$) . هذا هو الشرط الأول. وهذا الثبوت يعنى أن السوائل التى جزيئاتها متوازية مكانياً (نيماتية) تكون بالفعل غير مستقطبة. وتتكون جزيئاتها من ثنائيات القطب. ولكن المحاور العظمى (الطويلة) تجعل التوزيع فى هذه الحالات حول متوسط الاتجاه الذى نصفه عادة بدوال كثيرات حدود لجندر $P_n(\Theta_i)$ ، حيث إن Θ_i تمثل زاوية التناظر للجزىء (i) بالنسبة للموجه n، حينئذ، فإن أول حد لا يساوى الصفر ويعطى بالعلاقة

$$P_2 = \frac{1}{2} \langle (3 \cos^2\Theta_i - 1) \rangle_O$$

حيث ‹ › يعنى المتوسط الإحصائى المكانى للزاوية. وفى حالة التوزيع العشوائى الاتجاهى "isotropic liquid" تكون قيمة $P_2=O$.

أما فى حالة التصفيف المتوازى التام تكون قيمة $P_2=1$. وبالتالى فقيمة P_2 عادة تستخدم كجزء قياسى لمعامل الترتيب النيماتى (المتوازى). وفى العادة تتغير قيمة P_2 حول 0.6 عند درجات الحرارة المنخفضة وحول 0.4 عند الانتقال إلى الطور متناحى الترتيب المكانى والاتجاهى، حيث إن هذه القيمة تصل سريعاً إلى الصفر عند الانتقال من الرتبة الأولى.

وهذا يعكس بالطبع حقيقة أن اعتماد تصحيح الاتجاه على تجاذب قوة ڤان درڤال لم يكن فعالاً، إذا كانت الجزيئات غير متوازية بدرجة كافية.

وحتى فى حالة الرتبة الأعلى من دوال كثيرات حدود لجندر P_4 التى تصف الترتيب النيماتى بدقة أكثر من قيمة الرتبة P_2. وفى هذه الحالة يمكن القول أن

النيماتية أساساً هى ترتيب رباعى الأقطاب Quadrupolar Order.

والشئ نفسه بالنسبة للأطوار السميكتية "Smectic Phases" والتى تكون جزيئات المادة سطحية ومتوازية التوجه مع درجة استقطابية P بلغت حداً أعلى قليلاً من قيمها، إذا انتقلنا من الحالة النيماتية إلى الحالة السميكتية A إلى الحالة السميكتية C.

هذا الترتيب رباعى الأقطاب على امتداد الموجه بالطبع يميز جميع الاطوار فى البلورات السائلة من أجل أن يكون الشرط بتغير اشارة الموجه (n-→ n) محقق.

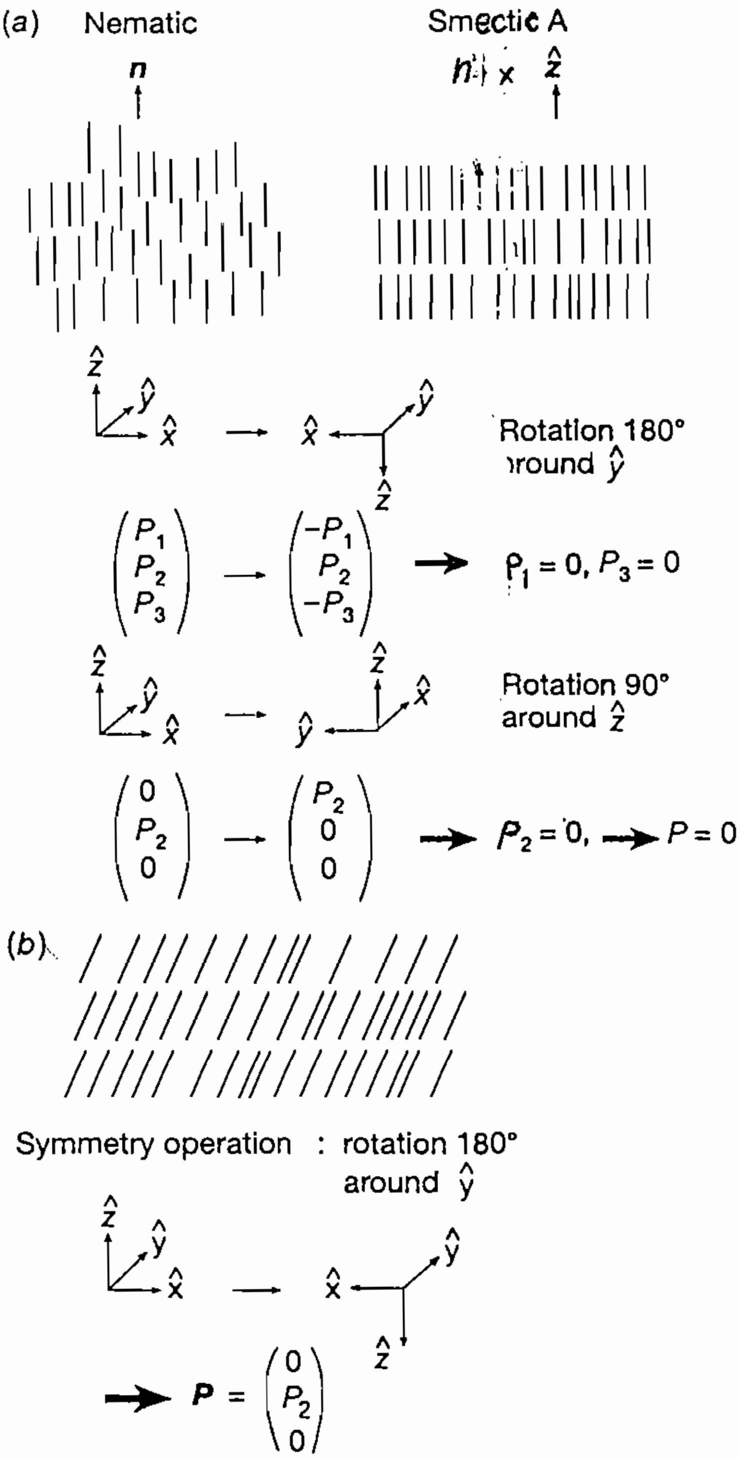
وهذا يعنى على وجه الخصوص، أن P_1 وكثيرات حدود لجندر الأخرى مساوية للصفر. بينما الجزيئات ذاتها تكون ثنائية القطب حتى الاستقطاب المكانى يكون صفراً. إذاً، $<P>=0$ فى الطور النيماتى.

وهذا ما نعنيه بعدم الاستقطابية. وبذلك، فلا يمكننا أن نسأل إذا كان الطور النيماتى له استقطاب عينى.

ومقدار قبول تأثير ظاهرة الكهروضغطية فى الطور النيماتى يمكن الحكم عليه فى الحال، حيث إن الضغط لا يشوه الموجه لأن السائل لا يمكنه أن يتحمل الإجهاد القاصى الاستاتيكى (Static Shear). ولذلك، يمكننا أن ننتقل بالمناقشة إلى قسم هام من البلورات السائلة فى طورها السميكتى، حيث يكون لها درجة حرة واحدة انتقالية وهى بلورية.

فالبلورات السائلة فى طورها السميكتى تتكون جزيئاتها فى طبقات وتصنع فى أشكال مختلفة. إلا أننا سوف نحدد مناقشتنا هنا على المواد البلورية السائلة فى طوريها السميكتى C,A كما هو موضح (بالشكل ١٥). والفرق بين هذين الطورين هو أن الموجه يكون على امتداد الاتجاه العمودى على الطبقة فى الطور A ويميل بزوية ما فى الطور C. والطبقات هى موائع تامة معرفة فى بعدين. والجدير بالذكر أن هذه السميكتيات تكون سوائل فى بعدين وتكون صلباً فى بعد واحد. وفى معظم المواد البلورية السائلة، حيث تظهر الأطوار البينية، يحدث انتقال طورى من الرتبة الثانية من الطورA ← الطور C عند درجة حرارة كورى (T_c) وتحت هذه الدرجة تبدأ الجزيئات فى اللف، وبمعامل$\psi=\Theta e^{i\varphi}$، حيث Θ تمثل زاوية اللف بالنسبة للاتجاه العمودى على الطبقة، وφ تمثل الزاوية الأزموسية التى تبين اتجاه اللف على مستوى الطبقة. وتغير الزاوية φ يسبب تغييراً طورياً. والموجه فى الطور C عملياً يكون حراً ويتحرك على شكل مخروطى وبنصف القيمة العظمى للزاوية Θ حول الاتجاه العمودى للطبقة، كما هو موضح بالشكل [٢٠].

والآن، يمكننا التساؤل: أى من البلورات السائلة ثلاثية التماثل (شكل [٢٠]) تكون موائمة باستقطاب عينى ذاتى متجهى خلال الوسط؟ أولاً: ثبوت الشرط① عند n- ← n يعنى اساساً أنه يوجد استقطاب P فى الوسط. وهذا الاستقطاب ليس له مركبات على امتداد الموجه n لأن عملية التماثل ① بعكس الإشارة لهذه المركبات تجعل الاستقطاب P عمودياً على الموجه n أى($P\perp n$)←②.



شكل ٢٠ : التوزيع الجزئى للبلورات السائلة

فى الطور النيماتى والطور السميكتى A .

ولكن من حيث المبدأ، فإن الاستقطاب P العمودى على الموجه n فى الأطوار النيماتية أو السميكتية A يكون مستحيلاً إلا فى حالة الأطوار التى لها تماثل أسطواني حول الموجه n. ولذلك، فالدوران بزاوية ١٨٠° حول n يجعل التماثل متواجداً وبالتالى يلغى أى تعامد بين n,P.

أما فى الطور السميكتى C فالوضع مختلف، لأن الوسط هنا يبرز اتجاهين غير واقعين على الخط نفسه، أحدهما n والآخر Z (العمودى على الطبقة)، وبالتالى يمكننا تكوين متجه منهما على الصورة $\bar{Z}\wedge\bar{n}$ والذى يأخذ الاتجاه القطبى، ما عدا إذا كان لف المستوى حيث تعتبر مستوى مرآة، تؤدى إلى انعكاسية عملية التماثل وبالتالى تلغى تعامد الاستقطاب P مع هذا المستوى. هذا يعنى أن الطور السميكتى C لانطباقى (Chirality) ويسمى الطور *C . وهذا الطور بالطبع يسمح بأن يكون الاستقطاب المكانى عمودياً على لف المستوى.

٢-٤) مبادئ نيومان وكورى والخاصية الفيروكهربية:

عند الإجابة عن السؤال إذا ما كانت المادة لها استقطاب تلقائى أم لا؟ أو إذا ما كان التأثير الخارجى عليها يجعلها مستقطبة، لابد من الاستعانة بمبدأين على درجة كبيرة من العمومية، ولكنهما مفيدان، وهما مبدأ نيومان ومبدأ كورىّ. أولاً، فى عام ١٨٣٣م قال نيومان إن أى خاصية فيزيائية فى الوسط يجب أن تثبت عند عمليات التماثل لكل مجموعة نقطية فى هذا الوسط. وثانياً، وفى عام ١٨٩٤م قالت العالمة كورى إن الوسط الذى يتعرض لفعل مجال خارجى يغير نقاط التماثل به ويعتمد ذلك على الربط بين عناصر التماثل المشتركة مع المسبب للفعل المؤثر.

والجدير بالذكر، أن مبدئى نيومان وكورىّ هما من المبادئ المفيدة فى علم فيزياء المواد الكثيفة اليوم. وكلاهما يمكن صياغته بطرق مختلفة. على سبيل المثال، مبدأ نيومان يمكن صياغته على الصورة الآتية: «عناصر التماثل للخصائص الذاتية يجب أن تشمل عناصر التماثل فى الوسط». هذه الصيغة تؤكد أن كل خاصية فيزيائية قد (وغالباً) يكون لها تماثل مرتفع، ولكن ليس أقل من تماثل الوسط. وأحسن مثال على ذلك هو البلورات التكعيبية التى تعتبر متساحتة (أى مرئية مكانياً واتجاهياً). وهذا يعنى أن سماحية العازل يكون لها تماثل كروى فى البلورة التكعيبية. والتوظيف العام لمبدأ نيومان فى المواد الكثيفة هى طبيعى وأكثر صياغة رياضية. وبالنسبة لتصديق مبدأ نيومان على مواد البلورات السائلة فطبقاً لمعالجة «توسيوم وفيلبيس» يتم ذلك بطريقة بسيطة باستكمال عمليات التماثل فى الوسط كما هو موضح بالشكلين [٢١أ وب]. وباختيار اتجاه – Z على امتداد الموجه (كما هو الحال فى الشكل ٢٠)، وبفرض أن الاستقطاب غير الصفرى يمثل بالدالة $P=(p_a,p_y,p_z)$ فى الطور النيماتى أو الطور السميكتى A، وبالدوران بزواية ١٨٠° حول محور -y تتحول مركبات الاستقطاب p_x, p_z إلى $-p_x$,$-p_z$، ولذلك كلا (هذين المركبين يجب أن يساوى صفراً، لأن الدوران تشغيلى التماثل فى الوسط. أما الدوران بزاوية ٩٠° حول محور -Z يحول الاستقطاب p_y المتبقى إلى p_x. وبالتالى نرى أن عمليات التماثل للوسط ليست هى عمليات التماثل للخاصية، مما يهدم مبدأ نيومان، وفى هذه الحالة يجب أن يختفى الاستقطاب P.

أما بالنسبة للبلورات السائلة في الطور السميكتي C، وبالدوران بزاوية ١٨٠ْ حول محور – y يكون مازال عملية التماثل، لذا فإن الاستقطاب P يكون مازال له مركبة في اتجاه -y هي p_y. أما بالدوران بزاوية ٩٠ْ حول محور -Z ، فلا يكون هناك أي عملية للتماثل (كما هو موضح بالشكل ٢٠ب) . ولكن إذا كان المستوى XZ كمستوى مرآه، إذاً الاستقطاب P يجب أن يساوي صفراً . ومن أجل أن نجعل قيمة مركبة الاستقطاب P_y باقية، يجب وضع دفع بسيط على الجزيئات تجعلها لا انطباقية (Chirality) . على سبيل المثال، يمكن تصنيع جزيئات تحتوي على ذرة أو أكثر من ذرات الكربون المتماثلة، وقد تكون كافية من حيث المبدأ لتحلل بعض من صفاتها اللا انطباقية في الوسط المضيف، بحيث يمكن إزالة المستوى المرآة . في كلتا الحالتين يكون هناك عنصر تماثل فقط يبقى له محور دوراني ثنائي الثني "Two-Fold Rotation Axis" على امتداد اتجاه -y . والاستقطاب في هذه الحالة يكون على امتداد الاتجاه المسموح به .

والجدير بالذكر أنه في عام ١٩٧٤م نجح بعض العلماء الأمريكيين في جامعة هارفارد الأمريكية من تعرف خواص التماثل السميكتي اللفيفة اللا انطباقية Chiral telted smectic التي تسمح باستقطابية تلقائية في اتجاه عمودي على مستوى اللف . وبالتعاون مع العلماء الفرنسيين، أمكن تصنيع هذه المواد للمرة الأولى التي تتواجد بها البلورت السائلة القطبية .

وبالطبع، تلك المواد تبين الطور السميكتي C^* الذي لم يرصد من قبل . وقد أطلق عليها اسم البلورات السائلة الفيروكهربية "Ferroelectric liquid crystal" . وبذلك بدأت الخطوات الأولى نحو اكتشاف سلوك تلك المواد . وتبعاً لجدلية التماثل التي نوقشت سلفاً، نرى أن الاستقطاب التلقائي المكاني P مرتبط بقوة مع الجزئ الذي يقع في المستوى $\pm\bar{Z}\Lambda\bar{n}$ (الإشارة الموجبة أو السالبة تميز المادة) . ولكن المطلب الرئيسي لوجود الاستقطاب هو أن الجزيئات تكون لا انطباقية، والتفاعلات اللاانطباقية تؤدي إلى تركيب حلزوني فائق غير متكافئ (كما هو مبين بالشكل ٢١ب) .

على سبيل المثال، يوجد تفاعلان شاملان في هذا الحلزون، أحدهما لا انطباقي ويؤدي إلى البرم التلقائي والأخر انطباقي (Steric) ويؤدي إلى تشوه بالثني التلقائي في مجال الموجه . وزاوية الطور ϕ ، تصف الجانب الأيمن أو الأيسر للحلزون بدورة في حدود ميكرومتر $(1\mu m=10^{-6}m)$. بينما الطبقة السميكتية لها بالطبع دورة طولها بعض من النانومتر$(1nm=10^{-9}m)$. والترتيب الحلزوني يجعل الاستقطاب العيني صفراً للعينة الصلبة، وفي الوقت نفسه الاستقطاب يحقق علاقة الاستقطاب الميلي $p=o\leq$ في كل مكان .

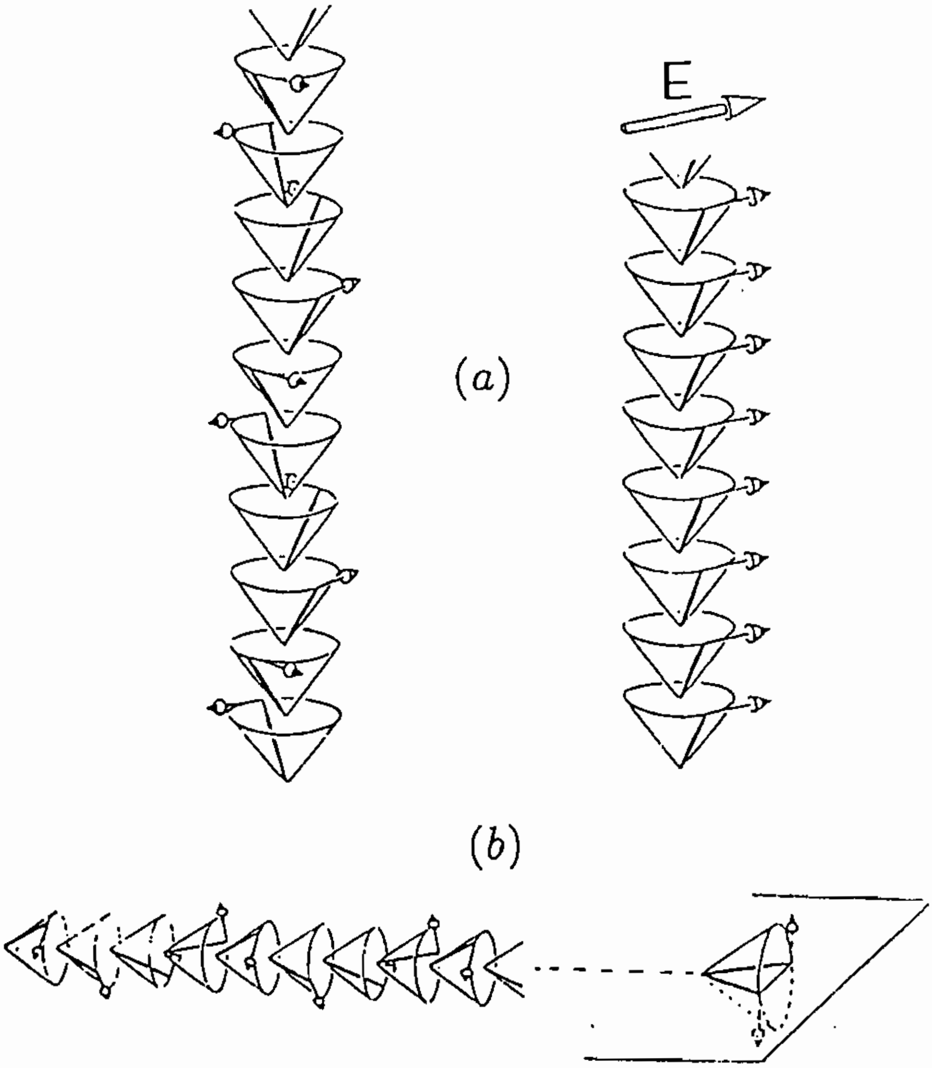
وبذلك، يكون هناك طريق أخر لتكوين مناطق من الصلب الفيروكهربي . ولكن لا توجد قوة قهرية قسرية في هذا التركيب إذا طبق مجال كهربائي خارجي في اتجاه عمودي على المحور الحلزوني، وبذلك يهدم الشكل الحلزوني للجزئ وبالتالي يلف محور الاستقطاب المكافي أكثر في اتجاه المجال المطبق (كما هو موضح بالشكل ١٩أ) .

وكما أوضحنا في (الشكل ١٩د)، لمنحنى الاستجابة (p-E) يكون ثابت العزل مناظراً لضديد الفيروكهربية خلال إطار التخلفية الرقيق. هذا السلوك يعرف في مجال فيزياء الجوامد بالتركيب اللاانطباقي "Chiral Structure" للمركب $NaNo_2$ ويسمى التركيب الحلزوني ضديد الفيروكهربية "helicodal antiferroel" وباختصار، يمكن تسمية هذه الظاهرة «الحلزون الكهربائي» "helielectric". فالحلزون الكهربائي في الطور السميكتي C^* له استقطابية عينية تساوى صفراً (مثل المواد ضديدة الفيروكهربية)، وبالتالي ليس لها تخلفية ولا نقاط حرجة، وأيضاً ليس لها استقرارية ثنائية. إلا أنه يمكن تحويل هذا التركيب ببعض من التحايل إلى تركيب له خصائص مختلفة، كما هو موضح بالشكلين (٢١أ،ب). دعنا نفترض إمكان تحضير السطح بطريقة تجعل الشروط الحدية للجزئ تجعله ذا توازٍ سطحي دون توجيه محدد. وبجعل السطوح أصغر وأصغر، يصبح التناقض بين الترتيب الحلزوني والترتيب السطحي أكثر مرونة، بحيث لا يهدم التركيب الحلزوني من خلال القوى السطحية. ومن المعروف أن التركيب الحلزوني لا يظهر إذا كانت العينة لها سمك محدد. فالشكل الحلزوني له طاقة منخفضة، والمشكلة الفيزيائية أن الشكل الحلزوني يتميز بطول محدد يسمى الدورة الحلزونية P، وبناء عليه يمكن أن نتوقع أن يكون سمك العينة d أقل من طول الدورة الحلزونية للجزئ P. أى إن القيمة الميكرومترية تسمح للموجه أن يقطع السطح المخروطي السميكتي نظراً لتوافق القيد المخروطي والقيد السطحي للعينة. وهناك وضعان هما التماثل حول المحور المخروطي والاستقطاب المناظر لأعلى أو إلى أسفل على الترتيب. ومن المفهوم الطاقي، فإن هذين الوضعين متكافئان ويؤدى ذلك إلى استقرارية ثنائية متناظرة. وفي حالة صنع عينات رقيقة بسمك $d=1\mu m$ وتحقق بعض الشروط الحدية، سوف تظهر تلقائياً مناطق فيروكهربية في غياب المجال الكهربائي المطبق. وبتطبيق المجال الكهربائي، يمكن الحصول على مجموعة من المناطق التي تنمو على حساب مناطق أخرى. وتنعكس العملية بانعكاس اتجاه تطبيق المجال. وفي حالة وجود تماثل ثنائي الاستقرار (كما هو موضح بمنحنى الاستجابة ١٩ب)، يمكن تسمية تركيب العينة «بالاستقرار السطحي للبلورة السائلة الفيروكهربية».

"Surface - Stabilized Ferroelectric Liquid Crystal (SSFLC)"

هذا الاستقرار السطحي يجعل الطور السميكتي C^* في طبيعته البلورية ويحول الاستقطابية العينية إلى الحجمية.

والحالة الوصفية للطور السميكتي C^* الحلزوني الموضح (بالشكل ٢١) له نقطة تماثل D_∞، التي لا تسمح باتجاه استقطابي. حينئذ، فلا تتواجد ظاهرة الكهروحرارية أو الفيروكهربية وبالأحرى ظاهرة الكهروضغطية. أما إذا طبق ضغط (أو شد) في اتجاه عمودي، نجد الطبقات السميكتية في التركيب الحلزوني، فلا يظهر أى استقطاب عيني. والتأثير الواضح في هذه الحالة فقط هو التأثير على درجات السنون



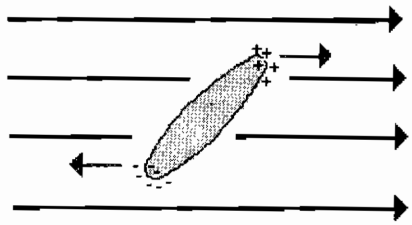
شكل ٢١ : الشكل الحلزونى للطور السميكتى C^*

(pitch) للحلزون (انظر شكل ٢٢) . ومن ناحية أخرى إذا فعلنا الشئ نفسه على الترتيب السطحى المستقر، كما هو موضح بالشكل (٢٣)، وبتغيير زاوية اللف Θ، وبالتالى الاستقطاب المكانى P الذى يتناسب مع زاوية اللف، حينئذ تتأكد حقيقة أن التركيب الفيروكهربى يستلزم أن تكون العينة كهروضغطية . وبناءً على ذلك فإن التركيب الاستقرار السطحى للبلورات السائلة الفيروكهربية يتميز بالخاصية الكهروحرارية، حيث إن كلاً من P,Θ دوال فى درجة الحرارة . وبما أن هناك استقطاباً عينيًا فيجب أن يكون هناك ارتباط قوى مع المجال الخارجى الذى يؤدى إلى استجابة فى زمن قدره ميكروثانية (10^{-6} Sec) طبقاً للعلاقة :

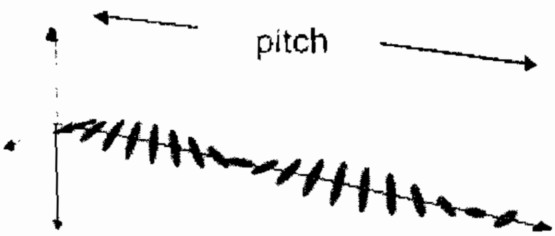
$$\text{ح} \quad \text{ن}^{-1} \quad \frac{P.E}{}$$

حيث   تمثل معامل اللزوجة التى تميز الحركة حول المخروط هذه الصيغة تسمى « صيغة جولد ستون » .

والجدير بالذكر أن الفرق Θ 2 بين اتجاهات المحور البصرى يؤدى إلى تأثيرات كهروبصرية عالية التمايز. هذا التمايز يزيد مع السرعة الفائقة التى تتجاوز ثلاث مرات أسرع منها فى حالة البلورات السائلة العادية مع التلازم الجوهرى للذاكرة يجعل هذه المواد استراتيجية خاصة فى مجال التطبيقات الكهروبصرية التى تستخدم فى الأغراض العسكرية والمدنية على حدٍ سواء.



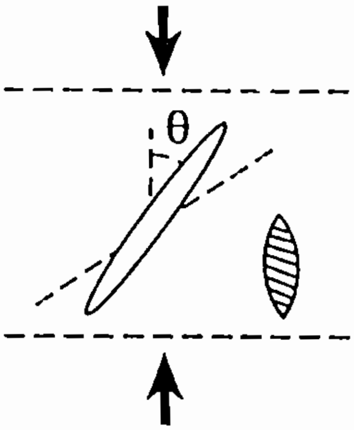
(أ)



(ب)

شكل ٢٢ : أ : استقطاب وتكوين ثنائى القطب فى وجود المجال الكهربى.

ب : طول الطبقة (pitch) الجزيئية الحلزونية



شكل ٢٣ : الضغط مطبق عموديًا على الجزئ فى الطور السميكتى C^* مستقر السطح.

وكما رأينا، أن المواد البلورية السائلة فى طورها السميكتى C^* ليست مواد فيروكهربية أتوماتية. ولكنها تتميز بخاصية الاستقرار السطحى بأشكال محددة. ولذلك، فإن الظاهرة الفيروكهربية ليست خاصية حجمية للبلورات السائلة، وهى ليست بالتالى خاصية لسائل حتى لو كان ذا بعدين. وقد يحاول البعض إنقاص درجة لف الحلزون بإضافات لا انطباقية لها قدرة برم انعكاسية (وهذا من السهل عمله)، بدلاً من إنقاص اللف الحلزونى بواسطة المرونة السطحية كما هو موضح بالشكل (٢١ أ) إلا أنه حتى الحلزون المكافىء (ذى السنون الدقيقة) يكون اللف التركيبى الحجمى بطريقة تؤدى إلى إلغاء الاستقطاب الكلى. وهذا ليس مستغرباً لمادة لها خصائص السائل.

وبمعنى آخر، تكون البلورات السائلة الحجمية دائما ضديدة الفيروكهربية بطريقة أو بأخرى. وأخيراً يجب أن نذكر أن البلورات السائلة ضديدة الفيروكهربية المنتظمة تتولد عندما تُلف طبقاتها السميكتية فى اتجاهات متعاكسة والتى ترتبط باستقطابية مكانية متعاكسة. وهكذا تتكون شبيكتان فرعيتان متشابهتان للحالة الصلبة.

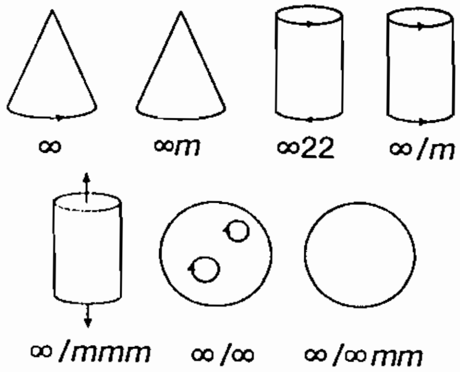
٢-٥) الخصائص الكهروضغطية

إذا رغبنا فى فحص الشرط الخاص بالإجهاد المرن اللازمة لتوليد استقطاب عينى، لابد من العودة إلى مبدأ كوريّ الذى هو تعميم لمبدأ نيومان، والذى هو فى الحقيقة انتهاك لأكثر الدراسات الفيزيائية المهمة كما ذكرنا سلفاً.

ومن بين هذه الحالات الانتقالات الطورية التى تهدم التماثل التلقائى الجزيئى، حيث تمثل درجة الحرارة بلغة كوريّ القوة الخارجية. ومبدأ كوريّ ينص على « عندما ينتج مسبب التأثير فعناصر التماثل لهذا المسبب يجب أن تتواجد فى التأثير ذاته ». وهذا يعنى أن إنتاج التأثير (الخاصية المستحثة) له تماثل زائد، ولكنه ليس أقل من

تماثل المسبب ذاته.

ولهذا، يجب استخدام مبدأ كوريّ بحذر، على سبيل المثال: انحراف إبرة مغناطيسية بطريقة محددة على اليسار أو اليمين عند إمرار تيار كهربائى فى اتجاه معين خلال سلك موصل، فى هذه الحالة يبدو كل شيء متماثلاً تماماً (مغناطيس أو تيار) بالنسبة إلى المستوى الذى يحتوى الإبرة والموصل. فإذا كان هذا المستوى مرآة مستوية، فنرى أن الإبرة لا يمكن أن تتأرجح فى أى اتجاه. وحل هذا التناقض الظاهرى هو أن هذا المستوى ليس مستوى مرآة نظراً للخصائص التماثلية للمجال المغناطيسى. والمشكلة الرئيسية تكون عند تعرف الخصائص الانعكاسية للأشكال الهندسية، حيث إننا لا نعرف الخصائص المناظرة للأشياء التجريدية مثل الكميات الفيزيائية. وفى الحقيقة إن المجال المغناطيسى له خصائص انحراف، والدرس المستفاد من ذلك هو أننا لا يمكن أن نعتمد على ظهور التأثير عند تحكيم التماثل للمجالات المختلفة وعلى خصائصها الفيزيائية بصفة عامة. والجدير بالملاحظة أن العالم بيير كوريّ هو أول من درس تلك التماثلات بطريقة منتظمة لوصفها. وقد أدخل سبع نقاط حدود لمجاميع التماثل وتسمى مجاميع النقاط المتصلة وغير المحددة. وأضاف تلك المجاميع إلى مجاميع التخطيط البلورى الاثنين والثلاثين التى تحدثنا عنها فى الفصل الأول. وبهذا التركيب استطاع العالم «بيير كوريّ» تقسيم التماثل وللأوساط الممكنة وكذلك جميع الخصائص الفيزيائية الممكنة، موضحًا التماثل المتصل ومخططاً للأشكال الهندسية البسيطة التى تتبعها (كما هو موضح بالشكل ٢٤).



شكل ٢٤ : المجاميع السبعة لبيير كوريّ وهى مجاميع نقطية، حيث ∞/m تمثل المتجه المحورى ∞، ∞_{22} ,∞/∞ ,∞/∞ تشكل المجاميع الانتمائية.

والآن، ما هى الشروط التى تجعل تطبيق إجهاد على وسط عام يسبب إزاحة كهربية؟ المشكلة الأساسية هنا تتعلق بالبحث عن وصف واقعى لتماثل الإجهاد المطبق.

والمعروف لدينا أن الإجهاد لا يمكن وصفه بمتجه قطبى لأنه على الأقل به متجهان،

كما هو موضح بالشكل ٢٥.

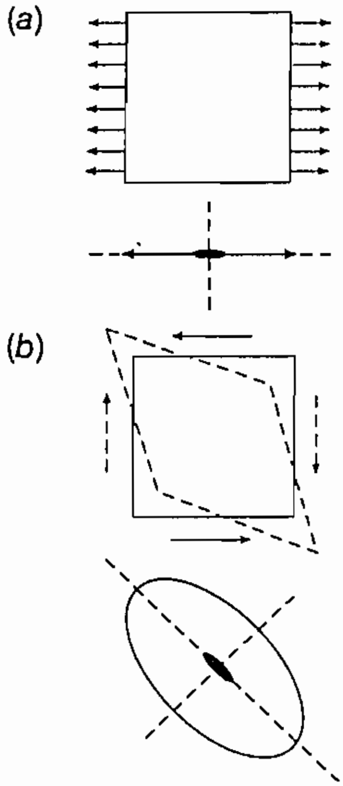
على سبيل المثال، الإجهاد التوترى فى بعدين، وكما هو الحال فى الحجمى القاصى يكون له مستويا مرآة متعامدان، أحدهما محور ثنائى الثنى، والآخر هو مركز التماثل. وفى الأبعاد الثلاثة يكون هناك ثلاثة مستويات مرآة، اثنان لهما محاور ثنائية الثنى والثالث مركز التماثل.

والآن، دعنا نطبق الإجهاد بطريقة عامة بحيث يكون تماثل المحاور الثلاثة تماثلها ثنائى الثنى Two fold Symmetry ومستوياته الثلاثة ذو تماثل انعكاسى. هذه المستويات ليس لها موجهات، حيث إنهما وسط انتقالى، وطبقاً لمبدأ كورىّ فإن الوسط الإجهادى لا يستبقى أيًّا من مستوياته أو محاوره. أما إذا كان مركز التماثل فى اتجاه Z-، فإن الوسط سيبقى مركز تماثله لأن الإجهاد له أيضا مركز تماثل.

ويعنى هذا أن الوسط الذى له تماثل انعكاسى ليس له خاصية كهروضغطية.

مما سبق يمكن القول بأن البلورات السائلة هى أحد أطوار المادة التى تتواجد بين الحالة السائلة والبلورية، وجزيئاتها عادة عضوية وتكون قضيبية الشكل طولها ٢٥ انجستروم، ويعتمد ترتيب الجزيئات فى المادة على درجة الحرارة.

على سبيل المثال الطور النيماتى يتميز بالترتيب الاتجاهى المتوازى للجزيئات.

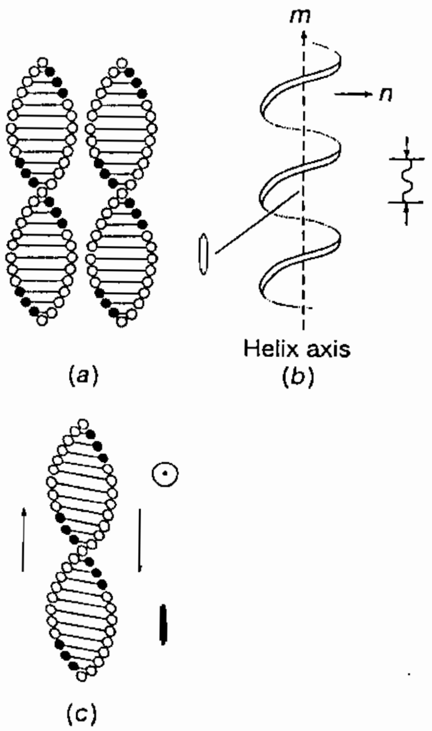


شكل ٢٥ : أ) الإجهاد الشدى.

ب) الإجهاد القاصى.

والاتجاه الجزيئي وكذلك الخصائص البصرية للمادة يمكن التحكم بها بواسطة المجال الكهربائي المطبق. ويكون الطور النيماتي ومازال أكثر الأطوار المعتادة للمواد في حالتها البلورية السائلة التي تستخدم في شاشات العرض displays، ومعظم الأجهزة تستعمل الأشكال النيماتية المجدولة (ملفوفة). أما الأطوار السميكتية وجد أنها تعتمد بدرجة أقل من الأطوار النيماتية على درجة الحرارة. وتتشكل هذه الأطوار من طبقات محددة تنزلق فوق بعضها كما يحدث في محلول الصابون. والأطوار السميكتية لها ترتيب مكاني في اتجاه واحد. وفي الطور السميكتي A تكون جميع الجزيئات متجهة في اتجاه الطبقة العمودية، بينما الطور السميكتي C تكون الجزيئات ملفوفة بعيداً عن الطبقة العمودية، انظر الشكل (٢٦)..

وهناك أطوار ملفوفة أخرى لها ترتيب حلزوني مثل الطور السميكتي I وF، كما توجد أطوار سميكتية أخرى مختلفة. والجزيئات المهمة التي لها أطوار ملفوفة هي الجزيئات اللاانطباقية «chiral molecules» وتمتلك هذه الأنواع من الجزيئات استقطابية دائمة، ولذلك فإنها تتميز بالخاصية الفيروكهربية.



شكل ٢٦ : الشكل الحلزوني للجزيئات

أ) في الطور السميكتي A.

ب) في الطور السميكتي C.

جـ) في الطور السميكتي *C.

والبلورات السائلة الفيروكهربية تستجيب بسرعة للمجال الكهربى المطبق عنها فى حالة البلورات السائلة فى أطوارها النيماتية.

ولذلك، تستعمل هذه المواد فى الأجهزة الكهروبصرية ثنائية الاستقرار. وهذا النوع من البلورات السائلة يسمى البلورات السائلة الفيروكهربية ذا الاستقرار السطحى.

والجدير بالذكر أنه فى عام ١٩٧١م تم اكتشاف ظاهرة النيماتية الجدلية « Twisted Nematic » بواسطة العالمين الألمانيين هيلفريك وتشات Helfrich & Schadt. وهذا الاكتشاف يمثل أول تطبيق ناجح لاستخدام البلورات السائلة.

وحالياً توجد أجهزة نيماتية مجدلية، فى هذه الأجهزة توضع البلورات السائلة بين مستقطبين عموديين للضوء. ويتحكم بواسطة المجال الكهربائى فى الانكسار الضوئى المزدوج.

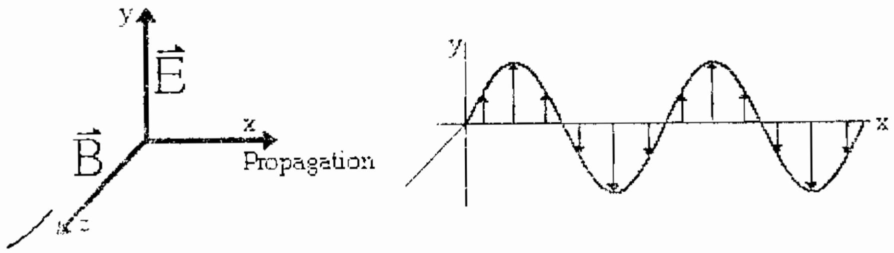
وفيما يلى نلقى الضوء على الاستقطاب الضوئى والانكسار المزدوج.

٢ - ٦) الضوء والاستقطاب

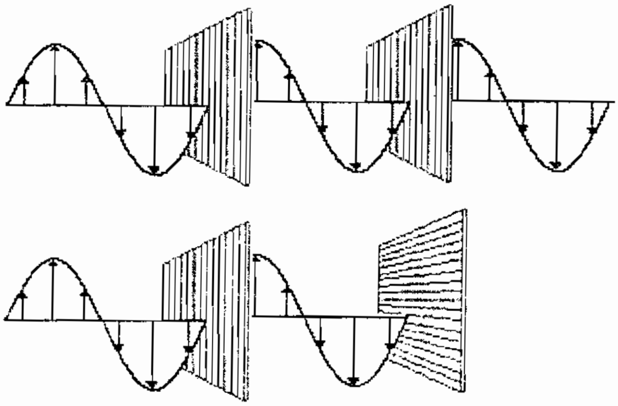
من المعروف لدينا، أن الضوء يمثل موجات كهرومغناطيسية مستعرضة نتيجة للتذبذب المتبادل للمجالين الكهربائى والمغناطيسى المتعامدين، كما هو موضح فى الشكل [٢٧] على يسار الصورة. ويبين المجال الكهربى فى اتجاه المستوى XY والمجال المغناطيسى فى اتجاه المستوى XZ وبذلك يكون انتشار الضوء فى اتجاه X. والشكل [٢٧] على اليمين يبين اتجاه انتشار المجال الكهربائى. وقد جرت العادة على استعمال متجه المجال الكهربائى، نظراً لأن مركبة المجال المغناطيسى يكون لها السلوك نفسه.

ودالة المجال الكهربائى جيبية، تتميز الموجة الضوئية بالطول الموجى (λ) والتردد (ϑ) وسرعة الانتشار (C).

وترتبط هذه المتغيرات بالعلاقة $\lambda \vartheta = C$



شكل ٢٧ : الانتشار الموجى الضوئى الكهرومغناطيسى.



شكل ٢٨ : الاستقطاب الضوئى.

ويتكون الضوء الأبيض المعتاد من موجات كهرومغناطيسية تتذبذب بجميع الزوايا الممكنة. ويعتبر الضوء مستقطباً خطياً عندما تتذبذب موجاته فى اتجاه مستوى واحد محدد. المستقطب الضوئى هو مادة تسمح بالضوء الذى يتذبذب بزاوية محددة من العبور خلاله. واتجاه التذبذب خلال المستقطب يسمى المحور السهل « Easy axis ».

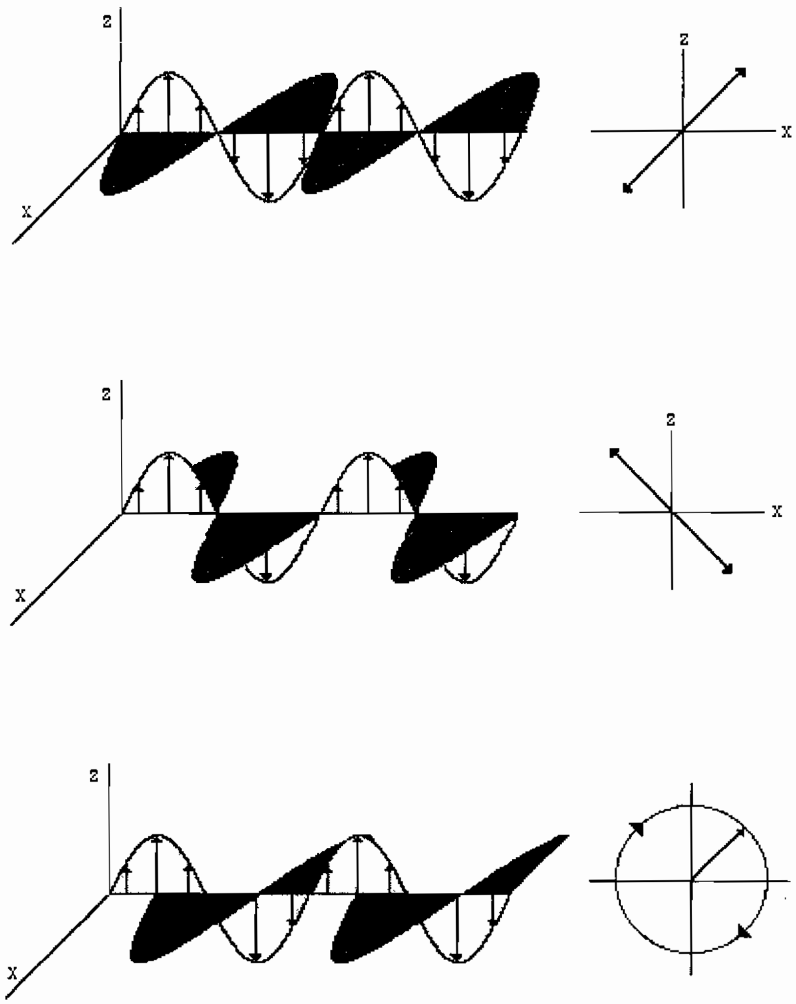
وعندما يوضع مستقطبان ضوئيان، بحيث يكون محوريهما البصريان متوازيين، فإن الضوء يعبر خلالهما. أما إذا كانت المحاور البصرية متعامدة (بزاوية ٩٠°)، فإن الضوء الذى يعبر المستقطب الأول، يحبس بواسطة المستقطب (المحلل) الثانى. وبدوران المحاور البصرية بزاوية بين ٠° - ٩٠° نجد أن كمية الضوء النافذ تقل. وهذه الظاهرة موضحة بالشكل [٢٨].

والاستقطاب الخطى هو حالة خاصة من الاستقطاب الدائرى للضوء. فإذا اعتبرنا موجتين ضوئيتين ، إحداهما مستقطبة فى المستوى XZ والأخرى مستقطبة فى المستوى XY فإذا وصلت الموجتان إلى النقاط العظمى والصغرى فى اللحظة نفسها (يقال إن لهما الطور نفسه) تكون المحصلة الاتجاهية لهما فى اتجاه واحد ومستقطبة خطياً عند زاوية ٤٥°. وهذا مبين بالشكل [٢٩]. وبالمثل، إذا كانت الموجتان بينهما فرق طورى بزاوية ١٨٠°، فالمحصلة تكون استقطاباً خطياً عند زاوية ٤٥° ولكن فى عكس الاتجاه.

وإذا كانت الموجتان بينهما فرق طورى قدره ٩٠°، فالموجة المحصلة تكون مستقطبة دائرياً. والشكل [٢٩] يوضح اتجاه المجال الكهربائى لهذين الموجتين. والحالة العامة، عندما يكون فرق الطور اختيارياً (ليس بالضرورة ٩٠° أو ١٨٠°) عندئذ، يصبح الضوء مستقطباً على قطع ناقص بدلاً من دائرة.

٢ - ٧) الانكسار المزدوج فى البلورات السائلة

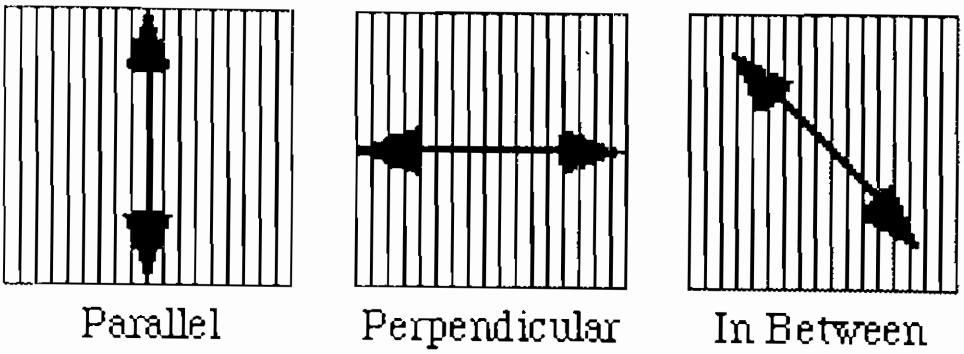
نظراً، لطبيعة البلورات السائلة المتناحية «anisotropic» فيقال إن البلورات السائلة ذات انكسار مزدوج إذا تحقق وكان للمادة أكثر من معامل انكسار للضوء. وفى حالة البلورات السائلة، يستقطب الضوء الساقط فى اتجاه موازٍ للموجة فيكون له



شكل ٢٩ : أنواع الاستقطاب .

معاملات انكسار مختلفة (حيث ينتشر الضوء داخل المادة بسرعات مختلفة) عنها من الضوء المستقطب فى اتجاه عمودى على الموجه (انظر الشكل ٣٠).

وعندما يدخل الضوء مادة مزدوجة الانكسار، فإن الشعاع الضوئى ينقسم بسرعة إلى مركبتين إحداهما شعاع اعتيادى، والأخرى شعاع غير اعتيادى. وذلك لأن المركبتين ينتقلان بسرعات مختلفة، وبالتالى تكون الموجات غير متوافقة فى الطور. وفى البلورات السائلة النيماتية يكون فرق الطوربين الشعاع الاعتيادى وغير الاعتيادى بين 0.1 و0.2. ويعتبر سمك العينة من العوامل المهمة فى عملية الاستقطاب. لأن الحيود الطورى تتجمع على طول مسار الانتشار الضوئى داخل المادة. وبذلك فإن درجة الاستقطاب تعتمد على مقدار السمك ومعامل الانكسار فى المادة.



شكل ٣٠ : الانكسار المزدوج.

٢-٨) الخصائص الكيميائية للبلورات السائلة

تنقسم البلورات السائلة إلى قسمين هما:

١ - بلورات سائلة ذات انتحاء حرارى Thermotropic Liquid Crystal

٢ - بلورات سائلة ذات انتحاء تآلفى Lyotropic Liquid Crystal

وعلى الرغم من أن هذين النوعين من البلورات السائلة مختلفان فى طريقة التشغيل التى تقود إلى نظامهما الذاتى، إلا أنهما يكونان متشابهين فى كثير من الطرق.

والتركيب الانتحائى الحرارى يحدث فى معظم البلورات السائلة، نظراً لأن هذه المواد معرفة بالانتقال إلى حالة التبلور السائلى المحتث حرارياً. فيمكن الحصول على حالة التبلور السائلى برفع درجة حرارة المادة الصلبة و/أو بخفض درجة حرارة السائل. والبلورات السائلة ذات الانتحاء الحرارى يمكن تصنيفها إلى نوعين هما:

أ- بلورات سائلة ثنائية الصورة البلورة Enantiotropic Liquid Crystal

ب- بلورات سائلة وحيدة الصورة البلورة Monotropic Liquid Crystal

وبصفة عامة، تحدث الأطوار البينية فى الانتحاء الحرارى نتيجة لقوة التفريق بين الجزيئات والتفاعلات بينهما. وعلى النقيض من ذلك، نرى أن الانتقالات فى الانتحاء المتألف للبلورات السائلة يحدث نتيجة لتأثير المحاليل المضافة، وليس نتيجة لتغير درجة الحرارة. والأطوار البينية فى الانتحاء المتآلف تحدث نتيجة الحث المحلولى الذى يجعل جميع مكونات الموروثات البينية فى تراكيب غروية. وهذه الموروثات تتكون من «ليوفيلك» Lyophilic (تجاذب - محلولى). وليوفوبيك Lyophobic (طارد - محلولى)، وهذا يؤدى إلى التراكيب الرغوية فى المحلول. وبزيادة تركيز المحلول وتبريده، فإن جزيئات الرغويات تزداد حجماً وتن[illegible] ثم يفصل التشكيل الجديد للبلورات السائلة من المحلول.

والجدير بالذكر، أنه يوجد عدد كبير من المركبات الكيميائية العضوية المعروفة بتعددها الطورى البلورى السائلى. وجزيئات هذه المركبات لها الخصائص الكيميائية والفيزيائية نفسها.

والبلورات السائلة ذو الانتحاء الحرارى تتشكل جزيئاتها بطريقتين:

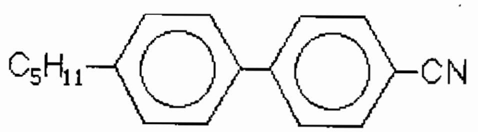
١- بلورات سائلة جزيئاتها تشبه الأقراص المستوية (discatics) وتتكون من قلب من الحلقات الأروماتية (العطرية) المجاورة.

٢- بلورات سائلة جزيئاتها تأخذ أشكالاً قضيبية تترصص على طول الموجه المكانى.

على سبيل المثال البلورات السائلة مثل (5CB) الموضحة بالشكل (٣١) تكون جزيئاتها مشابهة إلى شكل القضيب وتكون كتلة الجزئ الجرامى لها منخفضة وتسمى Rod-Like Low Molar Mass (LMM) Liquid Crystal ويتطلب امتداد الجزئ للمحافظة على صلابته وتركيبه الخطى. والقوة الداخلية للمجاميع تجعل المركب الناتج له تشكيل خطى. والوحدات المتصلة تحتوى على روابط متعددة، مثل:

(CH = N) - , - N = N-,- $(CH = CH)_n$ - CH = N-N = CH-, etc

وهذه الروابط تستخدم لأنها تحد من حرية دوران المجاميع. وهذا يتفق مع حلقات الفنيلين التى تشجع الاستقطاب الانتحائى وتزيد من طول الجزئ وتحافظ على صلابته. الجدول (١) يبين بعض أنواع من البلورات السائلة.



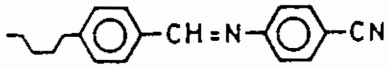
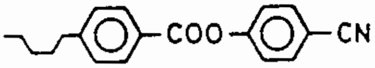
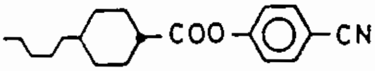
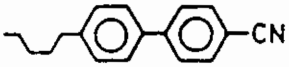
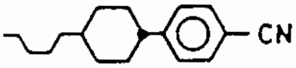
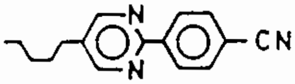
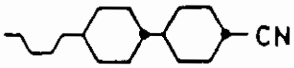
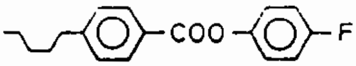
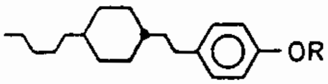
5CB *p-n* pentyl-*p'*-cyanobiphenyl (PCB)

شكل ٣١ : تركيب جزيئى فى مركب 5CB



شكل ٣٢ : التركيب الجزيئى لمركب 5CB بين الطور
النيماتى واستعماله الجيد فى شاشات العرض.

جدول ١ : بعض من أنواع البلورات السائلة فى طورها
النيماتى ذى الأهمية التكنولوجية.

1971		[21]
1972		[83]
1973		[84]
1974		[82]
1977		[86]
1977		[87]
1978		[88]
1981		[89]
1983		[90,91]
1985		[45]

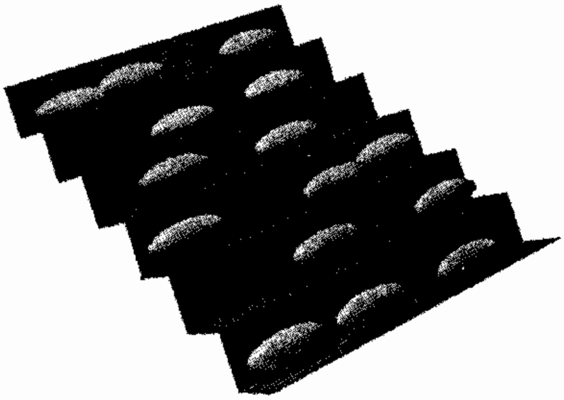
٢ - ٩) تجهيزات الأسطح والأنسجة والتشوه فى البلورات السائلة

Surface Preparatious, Textures and Defects

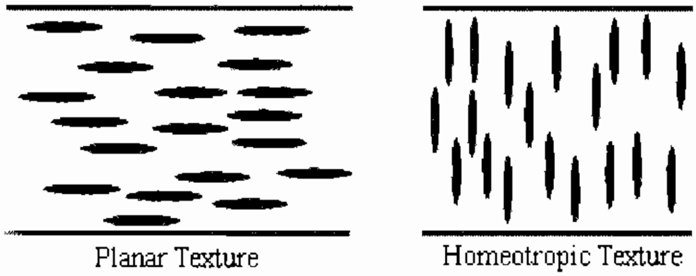
أ تجهيز الأسطح

Surface Preparation

فى غياب المجال الكهربائى الخارجى، فإن موجه البلورات السائلة يكون حرًا فى تحديد أى اتجاه. إلا أنه يمكن التحكم بقوة خارجية تجعل الموجه يشير إلى اتجاه محدد ويتم ذلك بعمل نظام عامل ارتباط خارجى an outside agent system. على سبيل المثال، ألواح الزجاج عادة تستخدم لمشاهدة البلورات السائلة بعد معالجتها وصقلها بمادة بلمرية، تصطفى جزيئاتها بالقرب من السطح فى اتجاه محدد. هذا السطح يحك بقطعة من القماش لخلق نقر (grooves) دقيقة متتالية. وبوضع البلورات السائلة تتجه جزيئاتها على طول المحور الموازى لهذه النقر. الأسباب الفيزيائية التى يرجع إليها لتجهيز السطح غير مفهومة حتى الآن وما زالت الأبحاث جارية لفهمها. انظر شكل (٣٣).



شكل ٣٣ : تجهيز الأسطح يوضح توزيع الجزيئات على النقر السطحية.

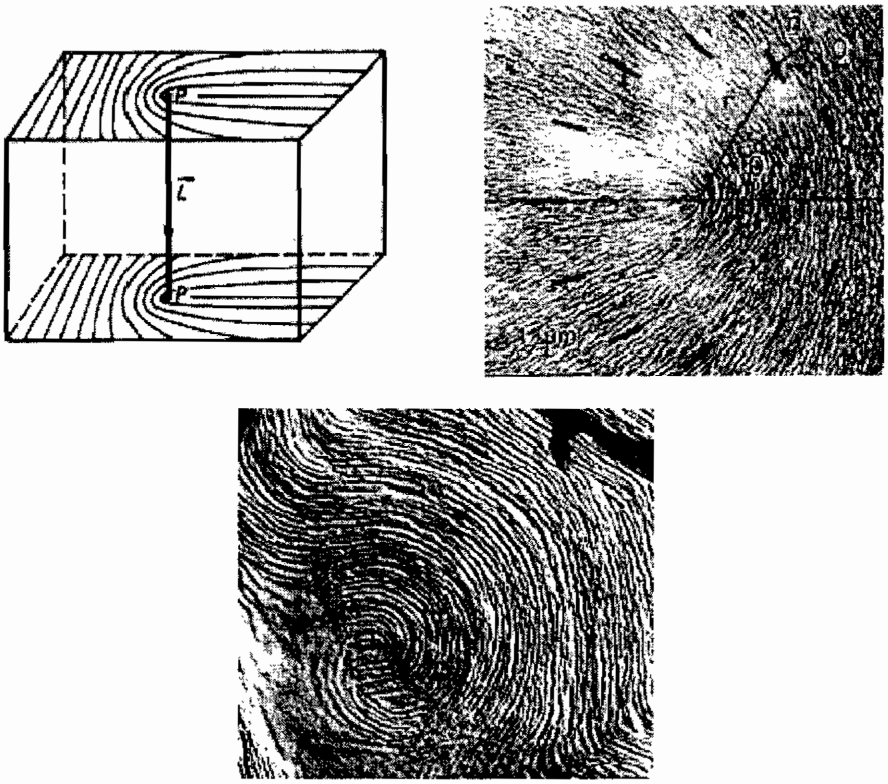


شكل ٣٤ : تكوين الأنسجة.

ب – الأنسجة :
مصطلح انسجة يرجع إلى توحيد اتجاه جزيئات البلورات السائلة بالقرب من السطح . فكل بلورة سائلة لها طور بينى يمكنها من التشكل ذاتيًا بأنسجة مميزة يكون من المفيد تحديدها، مثل الأنسجة النيماتية وخلافه التى تتحدد من اتساع الفجوة بين الشرائح الزجاجية «المحكوكة» الأسطح، (كما وصفنا سابقًا) وتكون موازية لاتجاه الحك . وعينة البلورات السائلة الداخلية يمكن توجهها فى نظام أنسجة سطحية Planer Textures كما هو مبين بالشكل (٣٤) . ويتم ذلك باستعمال غشاء (فيلمى) رقيق من البلمر، أو فى وجود مجال كهربى مطبق فى اتجاه عمودى على السطح هذا يعطى انسجة مدارية مثالية homeotropic Textures .

جـ – تشوه البلورات السائلة
التغيير المفاجئ فى استظهار الصور المبينة خلال الانكسار المزدوج سرعان ما يعترض اتجاه الموجه بالقرب من نقطة (أو خط) شاذة، ويؤدى ذلك إلى تكون منطقة يكون عندها الموجه غير معرف .

والشكل (٣٥) يبين اتجاه الموجه بالقرب من منطقة التشوه . والجدير بالذكر أن التشوه البؤرى المخروطى يكون مسئولاً عن كثير من التراكيب فى البلورات السائلة فى طورها السميكتى .



شكل ٣٥ : تشوه الشكل الجزيئى فى البلورات السائلة عندما يقترب الموجه من نقاط (أو خطوط) شاذة .

الفصل الثالث

التطبيقات التكنولوجية لمواد البلورات السائلة

٣ - ١) مقدمة

استعرضنا فى الفصل الثانى قصة اكتشاف البلورات السائلة التى تعود إلى منتصف القرن التاسع عشر، خاصة بعد مشاهدة العالم رينتيزير الخواص البصرية لمادة بنزوات الكوليستريل وهى فى حالتها البلورية السائلة. واستمرت جهود العلماء من أجل تسخير مواد البلورات السائلة فى التطبيقات التكنولوجيا الدقيقة التى تعتمد اساساً على تصنيع الأجزاء الإلكترونية الدقيقة التى تعتمد أساساً على تصنيع الأجزاء الإلكترونية بها من أشباه الموصلات وهى فى حالتها الصلبة، وقد استغرق ما يقرب من ثمانين عامًا، حتى بدء عصر بزوغ شاشات العرض المرئية المصنوعة من مواد البلورات السائلة.

ففى عام ١٩٦٠ نجح العلماء وخبراء التكنولوجيا فى الولايات المتحدة الأمريكية وأوروبا فى استعمال مواد البلورات السائلة فى بعض الأبحاث الصناعية القليلة. إلا أنهم كانوا يعتقدون أن هذه المواد ومركباتها العضوية تعتبر دخيلة على التطبيقات التكنولوجية خاصة النجاح فى مجال صناعة الإلكترونيات الدقيقة وخصائصها الكهروبصرية. وفى ذلك الوقت بذلت محاولات عديدة لفهم الخصائص الفريدة التى تتميز بها مواد البلورات السائلة وخاصة فى مجال التطبيقات الكهروبصرية، حيث إن هذه المواد تستخدم فى صياغة مفاتيح التحكم (shutter) لفتح وغلق الدوائر الكهربائية بطريقة بصرية.

وفى عام ١٩٦٨ تمكن العالم هلمبير ومعاونوه من الاستفادة من التأثير التشتيتى الديناميكى التى تتميز به مواد البلورات السائلة وصنعوا جهازاً كهروبصرياً من هذه المواد. فمن المعروف لدينا الآن، أن التشتت الضوئى الديناميكى يحدث فى الطبقات الرقيقة للعوازل (التى يكون ثابت العزل بها سالبًا) من البلورات السائلة عبر مرور تيار كهربائى أيونى خلال طبقاتها، وهذه هى القاعدة الأساسية التى تعتمد عليها أجهزة البلورات السائلة. إلا أن التطبيقات التكنولوجية المرتبطة بنجاح ظاهرة التشتت الضوئى خاصة فى مجال عرض الشاشات المرئية كانت غير عملية فى ذلك الوقت، حيث لم يتوافر وجود البلورات السائلة فى طورها النيماتى عند درجة حرارة الغرفة.

وفى عام ١٩٦٩ تمكن العلماء من تصنيع مادة من البلورات السائلة تسمى (٤ ميثوكسيبتر يليدين – ٤ن – بيوتيلانين) 4. methoxy benzylidene -4-n- butylanine التى تتميز بثابت عزل سالب فى الطور اللامتناح (anisotropic) «متباين الخواص فى النواحى أو الاتجاهات المختلفة». وقد أمكن تطوير خلطات من هذه

المركبات فى تصنيع أجهزة من البلورات السائلة تعتمد فى تشغيلها على ظاهرة التشتت الضوئى عند مدى حرارى واقعى.

وبجانب أجهزة البلورات السائلة ذات التشتيت الديناميكى أمكن اكتشاف ظاهرتين كهروبصريتين جديدتين للبلورات السائلة أمكن توظيفهما فى التطبيقات التكنولوجية وهما:

١- تأثير المضيف النيماتى Anematic guest-host effect.

٢- تأثير التغيير الطورى النيماتى بواسطة الحث المجالى وكلا التأثيرين يعتمدان على المجال الكهربائى المطبق، حيث إن توليد إشارات ضوئية لا يتطلب إمرار تيار كهربائى أومى (Ohmic current) ولكن المجال الكهربائى فقط يعمل على إعادة ترتيب طبقات البلورات السائلة التى تتميز بثابت عزل موجب. وهذا يجعل تحديد تشكل الحالة المغلقة لتصبح حالات فتح مرتبة ومتعددة.

وفى حالة التأثير المضيف الأول، تستخدم جزيئات الصبغة العضوية ثنائية اللون "dichroic dye molecules" «كمضيف» لتوليد الإشارات الضوئية. ويتم ذلك من خلال تحلل هذه الصبغة وتحولها إلى مضيف نيماتى (فى الحالة المغلقة) متوازى التصفيف. وعند تطبيق المجال الكهربائى، فإن تصفيف جزيئات كل من الضيف والمضيف يكون مداريًا متجانساً "homotropic alignment". وفى هذه الحالة نجد أن الامتصاصية المنتخبة تقل لطبقات الضيف والمضيف معاً.

أما تأثير التغيير الطورى النيماتى الثانى فيعتمد على تغيير التشتيت الضوئى للطبقات الكوليسترية منخفضة السمك (فى الحالة المغلقة) إلى الحالة المفتوحة وحيدة المحور البصرى الشفافة. ويتم ذلك بالتأثير على المادة بجهد فولطى كبير يكفى لإحداث هذا التغيير.

والجدير بالذكر أن هذه الاكتشافات أعطت دفعة كبيرة للاهتمام بمواد البلورات السائلة على نطاق تكنولوجى واسع للاستفادة من مميزاتها الفريدة. هذا بالإضافة إلى المنافسة المتسارعة مع الأجهزة الإلكترونية التى تستخدم المواد فى حالتها الصلبة، مثل الباعث الثنائى Diode، أو الثنائى باعث للضوء Light Emitted Diode (LED).

وفى الحقيقة، هناك نقاط ضعف أساسية لتأثير التشتت الضوئى الديناميكى وأيضاً التغيير الطورى من أهمها أنها تحتاج لقدرة فولطية عالية وأيضاً استظهارها ضعيف عند استعمالها فى شاشات العرض وبطيئاً. وفى حالة المواد ذات التأثير الطورى المتغير فإنها تعانى من ضعف التمايز ونقص التلاؤم المتعدد مما يمنع التوسع فى استعماله.

وحاليًا يتم بحماس متزايد التعاون بين علماء الفيزياء والكيمياء العضوية وخبراء التكنولوجيا من أجل ابتكار وتصنيع مواد البلورات السائلة، خاصة بعد نجاح العلماء تشارت وهيلفريك وفيرجاسون من تسجيل براءة اختراعاتهم عام ١٩٧١م، على تأثير المجال الكهروبصرى للمواد البلورية السائلة. هذا التأثير يسمى التأثير النيماتى المجدلى "Twisted Nematic" فعندما يمر ضوء غير مستقطب عبر مرشح استقطاب (مستقطب ضوئى) ينقل الضوء خلاله فى مستوى واحد فقط. أما إذا استخدم

مرشحان للاستقطاب الضوئى معًا، فإن انتقال الضوء عبرهما يعتمد على اتجاهاتهما البصرية بالنسبة لبعضهما. على سبيل المثال عندما يترتب المستقطبان، بحيث تكون مستويات الاستقطاب الضوئى عمودية على بعضها فإن الضوء فى هذه الحالة يحبس. وعندما يوضع المرشح الثانى (المحلل) موازيًا على (المستقطب) الأول، نلاحظ أن كل الضوء الذى عبر المستقطب الأول ينتقل ويعبر خلال المحلل الثانى.

٣-٢) التأثير النيماتى المجدلى

قبل تطوير وتصنيع مواد البلورات السائلة وخصائصها الفريدة التى نشاهدها اليوم والتى تستعمل على نطاق واسع فى شاشات العرض المرئية. كان لازمًا إيجاد مواد البلورات السائلة المناسبة ذات التأثيرات الكهروبصرية. وأساسيات التشغيل للتأثير الكهروبصرى يجعل العرض البصرى للشاشات معتمداً على التأثير العكسى للمتغيرات عند تطبيق الفولطية الخارجية والتمايز بين حالات الفتح والإغلاق يجب أن يكون كبيراً، وكذلك يجب أن يكون مدى الرؤية كبيراً أيضًا. وبالطبع يجعل ذلك نجاح تصنيع شاشات العرض فى منافسة نظيرتها الوميضية التى تعتمد على أنابيب الشعاع الكاثودى. ولذلك يجب أن يكون التأثير ذا امتيازات تكنولوجية كإنتاج نوعية راقية من الألوان، واستخدام قدرة كهربية منخفضة ومرونة التصميم واستجابة سريعة وإمكانة استعمالها فى شاشات العرض ذات المعلوماتية العالية مثل شاشات العرض التلفزيونية وأجهزة الكمبيوتر، بحيث تكون امتيازاتها أرجح من العيوب المصاحبة لها. وفى الوقت الحالى، فإن التأثير النيماتى المجدلى هو الأكثر شيوعًا فى استعمال مواد البلورات السائلة، وقد ثبت أنه مناسب وأكثر واقعية للمتطلبات السابقة. ونظراً لأن هذا التأثير لا يحتاج إلى إمرار تيار كهربائى أيونى فإنه يوفر القدرة الكهربية المستهلكة بمعدل عدة ميكرو واطات لكل سم٢ (microwatts/cm^2). والجدير بالذكر، أنه فى العقود الماضية لم تكن تتوافر مواد بلورية سائلة ذات خصائص فيزيائية مناسبة يمكن تشغيلها عند درجة حرارة الغرفة، بالإضافة إلى أنها تحتاج إلى مستقطبين ضوئيين بواسطتهما يكن تقليل إضاءة حالة الإغلاق بمقدار ٥٠٪. كما أن التصفيف السطحى يتطلب أن تكون جزيئات البلورات السائلة عند حدود شاشات العرض. ولذلك، نرى أن مبدأ التأثير النيماتى المجدلى أكثر تعقيداً بالمقارنة بالبلورات السائلة، وذو تأثير التشتت الضوئى الديناميكى

Dynamic Scattering liquid Crystal displays (DS-LCD's)

وأيضًا، فإن التصفيف الحدودى غير محدد ولا يمكن أن يستمر أمام اختبارات مدى العمر الشاملة. وأخيراً، هناك شكوك حول استخدام المواد العضوية فى الأجهزة الإلكترونية. إلا أن نجاح التكنولوجيا اليابانية فى تسخير مواد البلورات السائلة فى صناعة الساعات الرقمية والساعات الإلكترونية الأخرى، جعلت العلماء وخبراء التكنولوجيا فى العالم يقبلون التحدى والمخاطر لبدء عهد جديد من تكنولوجيا جديدة تعتمد على تطوير وإنتاج

Twisted Nematic - Liquid Crystal Displays TN-LCD's شاشات عرض من البلورات السائلة النيماتية المجدولة.

والجدير بالذكر، أنه منذ عام ١٩٨٧ تم إنتاج ٩٠٠ مليون شاشة عرض "TN-LCD'S" منتشرة حالياً في أرجاء العالم.

واعتماداً على التطبيقات المختلفة لشاشات العرض TN-LCD'S، تعمل البلورات السائلة بمسارات بصرية مختلفة، الفرق بينها يعرف بالعلاقة $\Delta n.d$، حيث d تمثل اتساع فجوة الخلية، و $\Delta n = n_e - n_o$ يمثل الفرق بين معامل الانكسار الضوئي الاعتيادي (n_o) وغير الاعتيادي (n_e). وهذا يتطلب مواد بلورية سائلة مختلفة وحجرات الخلية مختلفة. وعلى ذلك يكون أقصى تمايز ينتج من الخلية عندما يتحقق الشرط

$$\frac{\Delta n.d}{\lambda} = 0.5, 1, 1.5, ...$$

حيث λ تمثل الطول الموجي للضوء الساقط.

وتحت شروط أقصى تمايز، لا يستقطب الضوء في مساره الحلزوني، إذ يكون تفريق الضوء مقداره صغيرا في صيغة التوجيه الضوئي. ونتيجة لذلك فإن تصميم شاشات TN - LCD'S كما ينبغي أدى إلى زيادة نسبة التمايز والتي تتحدد فقط بواسطة المستقطبات الضوئية. هذا بالإضافة إلى أن الشاشات TN-LCD'S تظهر اللونين الأبيض والأسود بمستويات رمادية عند تطبيق فولطية متحركة متوسطة. وظهور اللونين الأبيض والأسود يسمح بتركيب مختلف الألوان باستخدام مرشحات ضوئية للألوان (التي تخفض المدى الطيفي للضوء المرئي) والتي يمكن تكوينها بخلط الألوان الأساسية: الأصفر والأحمر والأزرق.

٣-٢) خلايا البلورات السائلة النيماتية المجدلية

فيما يلي نوضح بطريقة مبسطة كيفية عمل الخلية النيماتية المجدلية، والتي نعتبر أساس تصنيع شاشات العرض "TN-LCD'S".

هذه الخلية تتكون مما يلي:

١ – لوحين (عادة من شريحتين من الزجاج) متلاصقين كل منهما مصقل بمادة موصلة للكهرباء وشفافة مثل مادة أكسيدتن الأنديوم. ويستخدم اللوحان كقطبين كهربيين.

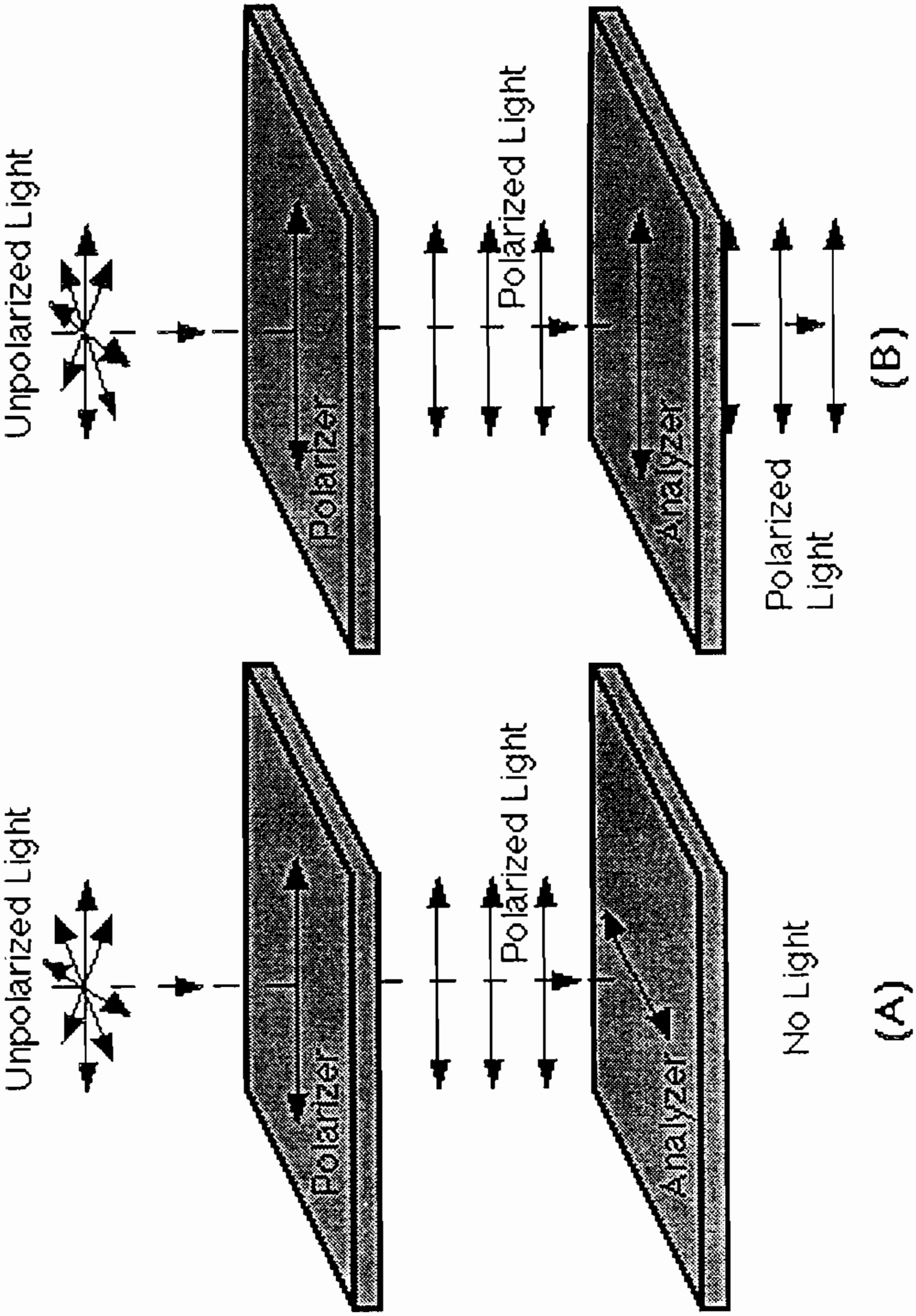
٢ – جهاز تحكم في المسافة الفاصلة بين اللوحين بدقة.

٣ – مرشحين للاستقطاب الضوئي (مستقطب ومحلل ضوئيين).

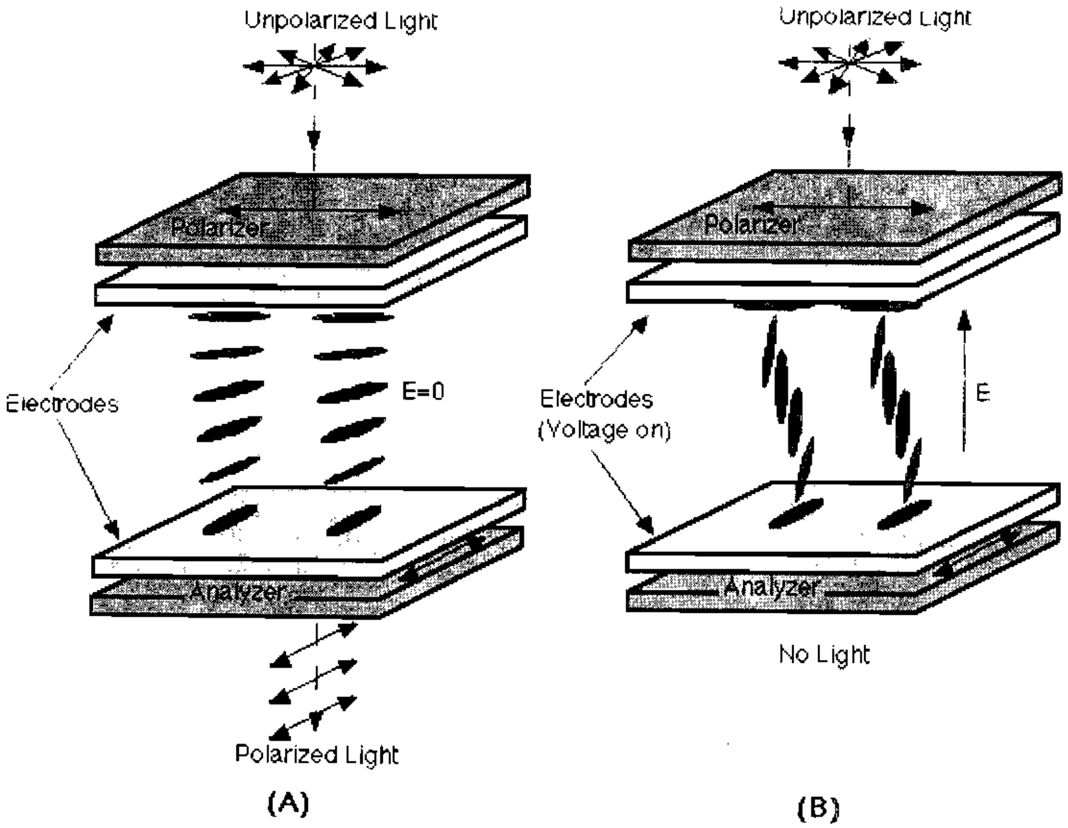
٤ – مادة البلورات السائلة في أطوارها النيماتية.

وتكون سطوح القطبين الكهربائيين الشفافين المتصلة مع البلورات السائلة مصقلة بطبقة رقيقة من «البُلمر» التي تحك وتفرش في اتجاه واحد. في هذه الحالة تميل جزيئات البلورات السائلة النيماتية إلى التوجه على طول المحور الموازي للموجه. والألواح الزجاجية تجهز، بحيث تكون الجزيئات الملاصقة للقطب الكهربي العلوي متجهة بزاوية عمودية على اتجاه الجزيئات الملاصقة للقطب الكهربي السفلي. وكل مستقطب يتجه بمحوره الموازي على اتجاه حك القطب الملاصق، بحيث يكون المحلل والمستقطب الضوئيين متقاطعين. انظر شكل (٣٦).

وفي غياب المجال الكهربي، نرى أن الموجه النيماتي يتعرض لحالة لف سلس بزاوية ٩٠°

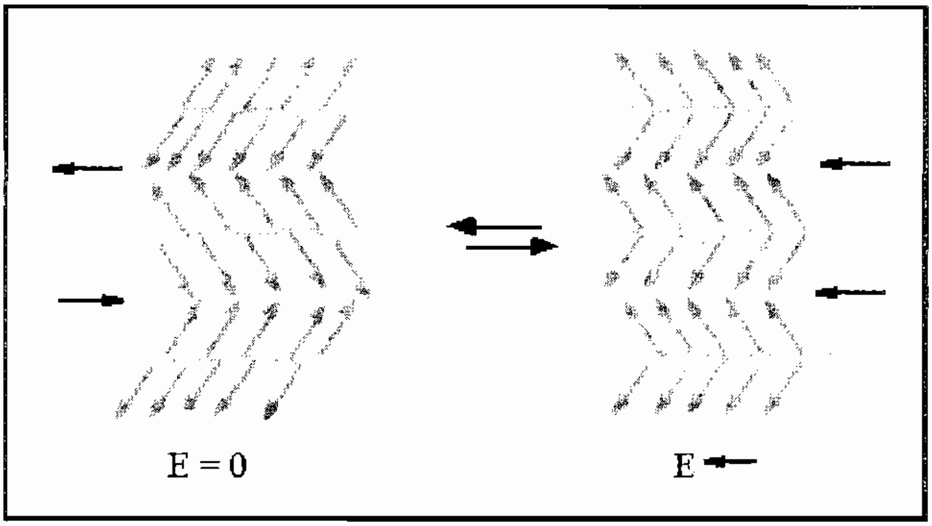


شكل ٣٦ : مرشحات استقطابية في وسط انتهائي.



شكل ٣٧ : شكل هندسى للخلية النيماتية المجدلية

يبين كيفية عملها استقطابها الضوئى.



شكل ٣٨ : تأثير المجال الكهربائى على توجيه
الجزيئات فى البلورات السائلة.

خلال الخلية (من هنا جاء اسم البلورات السائلة النيماتية المجدلية) والضوء غير المستقطب إلى المستقطب الضوئى الأول ويخرج منه مستقطباً فى المستوى نفسه الذى تتجه فيه جزئيات البلورات السائلة.

وهذا الترتيب المجدلى لجزيئات البلورات السائلة خلال الخلية يعمل كمرشد وموجه موجى وبصرى «Wave guide» ويدور مستوى الاستقطاب بواسطة الدوران ربع دورة (٩٠°) لدرجة أن الضوء الذى يصل إلى المستقطب الثانى يمكن العبور خلاله. فى هذه الحالة تكون خلية البلورات السائلة شفافة.

وعندما نطبق مجالاً كهربائيًّا على القطبين فإن جزيئات البلورات السائلة تميل إلى الترصيص مع محصلة المجال الكهربائى (E). (انظر شكلى ٣٧، ٣٨) وتفقد الخلية بالتالى خاصية الإرشاد الموجى البصرى. وبذلك تصبح الخلية مظلمة. كما لو أنها لاتحتوى بلورات سائلة. ولكن عندما يتوقف تطبيق المجال الكهربائى فإن الجزيئات تسترخى عائدة إلى وضعها المجدلى، وتصبح الخلية شفافة ثانية.

وعلى الرغم من أن هذه الطريقة بسيطة، إلا أن تطبيقاتها كثيرة فتستخدم فى الساعات الرقمية والحاسبات. فى هذه الحالات توضع مرآة أسفل المستقطب الضوئى الأسفل. ودون فولطية مطبقة، يعبر الضوء المحيط خلال الخلية وينعكس ثانية بواسطة المرآة ويعبر فى اتجاه عكسى، ويعيد خروجه من قمة الخلية. وبذلك يظهر الضوء بلونه الفضى، وعندما يطبق المجال الكهربائى، فإن تصفيف جزيئات البلورات السائلة لايؤثر فى الاستقطاب الضوئى. فالمحلل الضوئى يمنع الضوء الساقط من الوصول إلى المرآة ولاينعكس الضوء منها ويجعل بذلك الخلية مظلمة. وعندما تشكل الأقطاب من عدة أجزاء تأخذ شكل الحروف الكتابية والأرقام، فيتم بواسطة التحكم فى فتح وغلق المجال الكهربائى من استعراض الأرقام والحروف.

والجدير بالذكر، أن مواد البلورات السائلة النيماتية المجدلية تستعمل حاليا فى صناعة الترنزستورات من أغشية رقيقة والتى تستعمل فى الشاشات التليفزيونية والكمبيوترية التى تحتاج إلى رسوم جرافيتية ومعلوماتية عالية تحتوى على أكثر من مليون عنصر للتصوير، والتى توضع فى الطائرات.

٣ - ٤) قواعد المخاطبة فى شاشات البلورات السائلة:

أ - التعدد الزمنى

فى الوقت الحالى، تتوفر شاشات البلورات السائلة بمصفوفة نقطية تشمل ١٠٠٠٠٠ (مائة ألف) من مواد NT - LCD´s تعمل كعناصر تصوير، وتخاطب كل عنصر من هذه العناصر فى هذا الوسط المعقد من العرض خلال الاتصالات المنفردة. مما قد يجعل هذه التكنولوچيا مستحيلة. ولذلك، فالتعدد الزمنى لازمًا لتطوير تقنية التخاطب الذى يجعل من استعمال المميزات الكهروضوئية لشاشات عرض من البلورات السائلة ممكنًا. ويتم ذلك بتخفيض درامى لعدد الوصلات فى المصفوفة التى تتكون من عدد N X M إلى N + M ، (حيث M تمثل عدد الأعمدة و N تمثل عدد الصفوف) فهذا التعدد الزمنى يتطلب تشغيلاً بعديًّا محدداً بدقة، وكذلك الاستعانة بخاصية الإرسال الفولطية فى التأثير الكهروضوئى.

وطبقًا لعلاقة «آلت وبليشكو» فإن أقصى عدد N للخطوط التعددية يعرف بالعلاقة:

$$N = \frac{[(1+P)^2+1]^2}{[(1+p)^2-1]} \quad , \quad P = \frac{(V_{50} - V_{10})}{V_{10}}$$

حيث P تمثل معامل الميل وهو معرف عند تمايز 1 : 5.

V_{50} يمثل الفولطية المناظرة إلى 50% إرسال فى شاشات البلورات السائلة LCD.

V_{10} يمثل الفولطية المناظرة إلى 10% إرسال فى شاشات البلورات السائلة LCD.

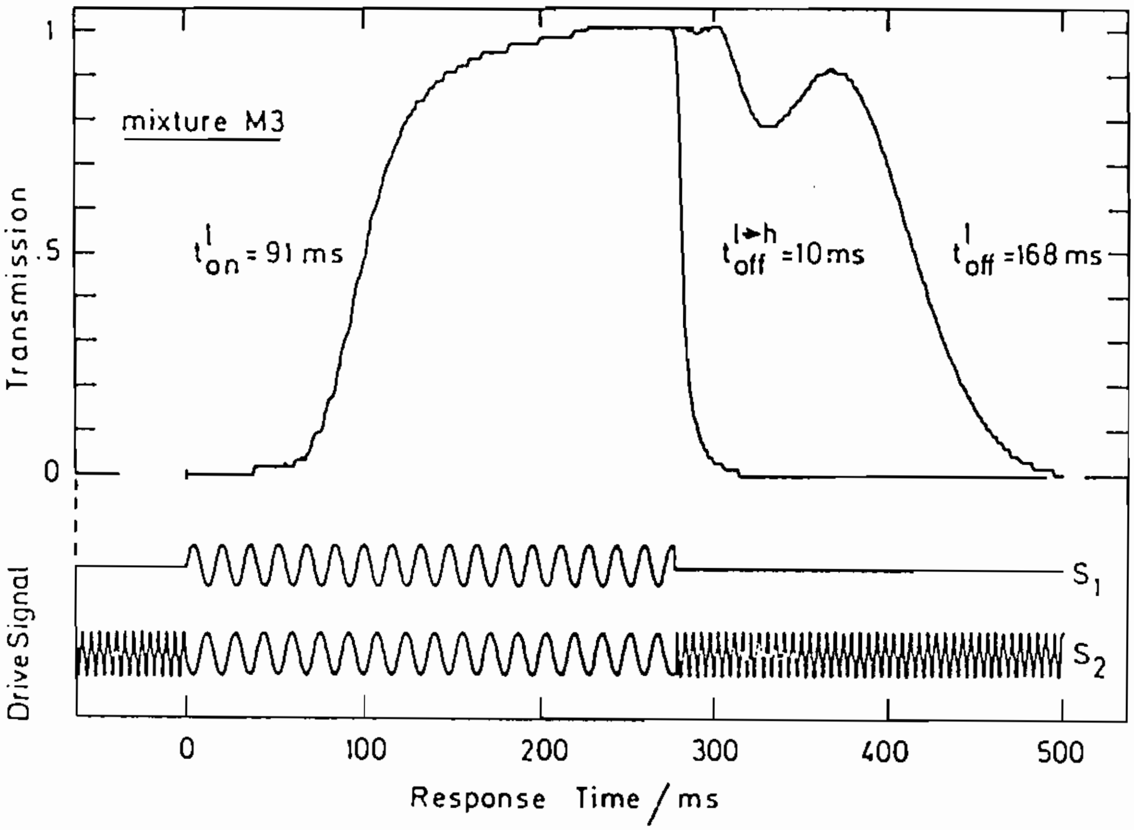
ومن الملاحظ أن التمايز يقل تحت النسبة 1 :5 إذا ازدادت قيمة N تحت قيمة صغرى للميل P_{min}. وقيمة P_{min} يمكن تعيينها بواسطة دراسة درجة الانغماس فى التأثير الكهروضوئى المستعمل فى شاشات البلورات السائلة، وأيضا بواسطة المتغيرات الأخرى المؤثرة على هذه المواد. بالإضافة إلى أن بزيادة العدد N، فإن الاستجابة الزمنية للخاصية الكهروبصرية فى هذه الشاشات تزداد، وبالتالى فإن مدى الرؤية ينقص، وبذلك تقل درجة التمايز.

ب - أزمنة الاستجابة

لتحسين زمن الإغلاق لشاشات البلورات السائلة خاصة فى تطبيقات المصراع البصرية التى تتطلب ألا يتعدى زمن الاستجابة ١ ميللى ثانية. يستخدم فى ذلك نظام محاكاة التردد الثنائى. هذا النظام يعتمد على عكس إشارة ثابت العزل فى الوسط المتناح للبلورات السائلة ذات ثابت عزل E موجب عند الترددات العالية. ويرجع ذلك إلى دوران مئات من محاور الجزيئات الطويلة.

وعند درجة حرارة الغرفة، يكون تفريق ثابت العزل النيماتى العادى بقيمة أعلى من 100 KHz (مائة كيلو هرتز)، ويتطلب ذلك تصميم خلطات من المواد البلورية السائلة لخفض قيمة ثابت العزل ليكون التردد [$\epsilon_{\parallel}(f_c) = \epsilon_{\perp}(f_c)$] f_c. [عندئذٍ، يكون التغيير فى ثابت العزل $\Delta\epsilon = \epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp}$ مساوى صفرا] خلال مدى ترددى 10 KHz (عشرة كيلو هرتز).

ويلاحظ أن تسخين العوازل، لا يحدث عند الترددات المنخفضة. أى زيادة فى سعة الحمل. ويبين الشكل [٣٩] كيفية تقصير زمن الإغلاق للتواصل الترددى الثنائى للمواد TN - LCD. ومازال حتى الآن تعتبر وجهة النظر هذه، ما هى إلا طريق وحيد بالإضافة إلى استعمال مفتاح Π السريع فى الخلية الذى يؤدى إلى زمن استجابة قدره واحد ميللى ثانية من درجة حرارة الغرفة، باستخدام شاشات البلورات السائلة عند قيمة فولطية منخفضة ومتواضعة.



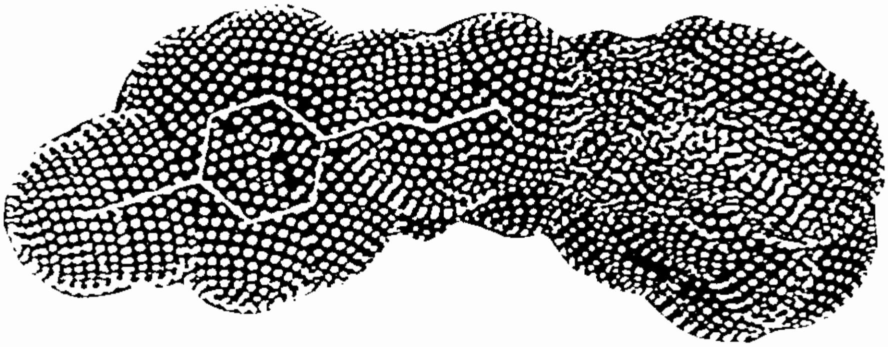
شكل (٣٩) : يبين العلاقة بين زمن الاستجابة الترددى للمواد النيماتية الجدلية .

والجدير بالذكر، أنه حاليًا أمكن بلوغ زمن استجابة قدره واحد ميكرو ثانية باستعمال مواد البلورات السائلة الفيروكهربية مستقرة الأسطح التى اكتشفها العالم ماير ومعاونوه عام ١٩٧٥م، وطورها فى الوقت الحالى العالمان الأمريكى نويل كلارك والسويدى لاجيرقال .

وعلى ذلك، وعلى الرغم من وجود بعض المشاكل التكنولوجية، إلا أن البلورات السائلة الفيروكهربية جعلت زمن الاستجابة أسرع بعدة عشرات من القيمة المناظرة للبلورات السائلة النيماتية . بالإضافة إلى أن هذه البلورات السائلة الفيروكهربية من الاتحاد الحرارى القوى للترددات الثنائية كما يحدث فى حالة البلورات السائلة النيماتية .

٣ - ٥) معاملات مواد البلورات السائلة

تعتبر الخصائص البصرية والكهربائية والمغناطيسية والميكانيكية لمواد البلورات السائلة أساسية للتطبيقات التكنولوجية لهذه المواد. هذه الخصائص هي نتيجة للتفاعل الطويل والقصير المدى بين جزيئات المادة الداخلية. ومن أهم المعاملات التي تتميز بها مواد البلورات السائلة هي معامل الانحدار (Splay)، ومعامل الثنى (Bend). هذه المعاملات ترتبط بثوابت المرونة للمادة. وهناك معاملات أخرى مثل معامل اللف (البرم) وثابت العزل الاستاتيكي ($\varepsilon_{\perp}$) والديناميكي ($\varepsilon_{//}$)، وأيضاً معامل التوصيلية $\sigma_{\perp}$ و $\sigma_{//}$ من خلال طبقات البلورات السائلة ذات الممانعة (impedance) التي تعتمد على التردد. وكذلك من أهم هذه المعاملات قياس اللزوجة η. كل هذه المعاملات تؤثر بشدة عند استعمال مواد البلورات السائلة في التطبيقات التكنولوجية. ،انظر شكل ٤٠).



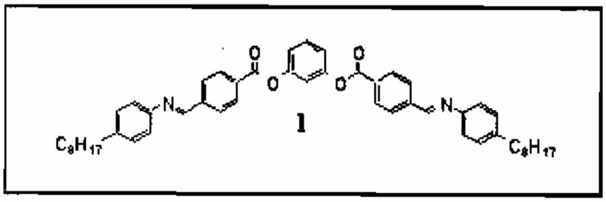
شكل (٤٠) : جانب من سلسلة الكنيل توضح ثلاث أشكال ممكنة النقاط تبين أنصاف أقطار ڤان درڤال .

٣ - ٦) اكتشافات حديثة للبلورات السائلة السميكتية القطبية

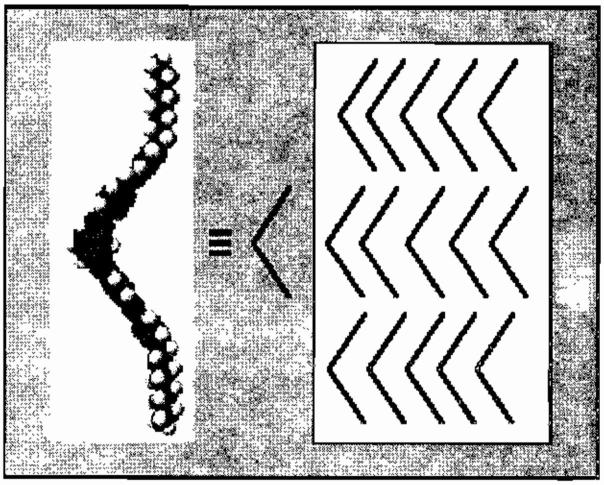
في عام ١٩٩٦م، نجح العالمان اليابانيان « تاكزو وتانابي » من نشر اكتشافاتهما الحديثة التي تفرض وجود طور سميكتي قطبي في مواد البلورات السائلة التي تتكون من جزيئات لا انطباقية مستقطبة في اتجاه موازٍ للطبقات. والتركيب البيني لهذه الجزيئات موضح بالشكلين (٤١ أ، ب)، ويشمل توزيعاً غير عادي للحلقات شبه

الأروماتية (عطرية) فى مركز القلب. وطبقًا لما نشر فى هذا الموضوع فقد وجد أن بعض تشكيلات البنية الجزيئية الأساسية تظهر على شكل ثمرة الموز (banana - Shaped).

ويبذل العلماء حاليًا الجهود المضنية من أجل معرفة الخصائص الكهربائية والاستقطابية لهذه المواد البلورية السائلة الجديدة. ومقارنتها بالأطوار السميكتية *C اللاانطباقية الفيروكهربية . ومن أهم هذه الدراسات التشكل التلقائى لمناطقها الحلزونية فى الطور القطبى اللا انطباقى. والشكل (٤٢) يبين أحد هذه الأطوار فى الجزيئات التى تمتلك محاور مزدوجة مكانية غير قبوية.

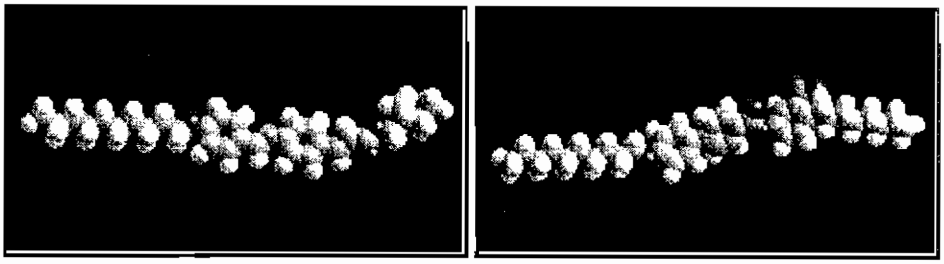


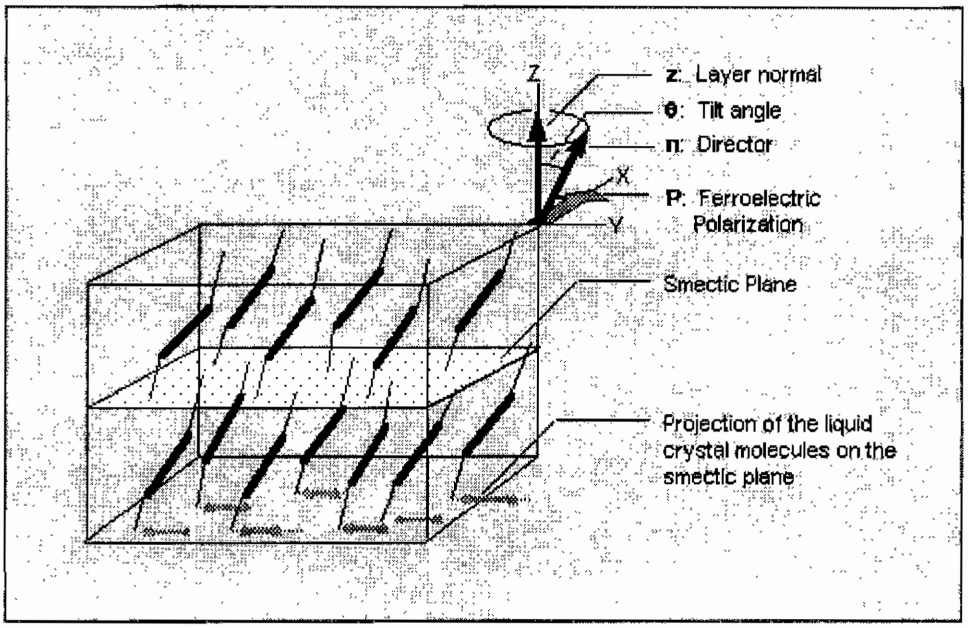
(أ)



(ب)

شكل (٤١) : التركيب الجزيئى للموروثات البينية على شكل موزى.





شكل (٤٢) : يبين التوزيع الجزيئى فى مستوى سميكتى للمواد الفيروكهربية.

والجدير بالذكر، أنه بفرض صحة نظرية التشكل التلقائى الموزى للجزيئات، فإن هذا الفرض يطور طريقة ترصيص الجزيئات، حيث أن الترصيص للأقطاب الثنائية المجسمة (Steric dipoles) هو أحد العوامل التى تؤدى إلى الترتيب القطبى الذى يعتبر المفتاح الحقيقى لتغيير الأطوار البينية للبلورات السائلة.

وتعتبر المواد البلورية السائلة الجديدة ذات تطبيقات تكنولوجية مهمة خاصة تلك التى تعتمد على الخصائص الكهروبصرية والبصريات غير الخطية والمضمنات الضوئية... إلى آخره.

٣ - ٧) تطبيقات البلورات السائلة

وفيما يلى سوف نستعرض بعضاً من تطبيقات البلورات السائلة.

كما ذكرنا سلفا فى بداية هذا الفصل، أن تكنولوجيا البلورات السائلة تستخدم بتوسع فى مجال إنتاج صناعة شاشات العرض المرئية، وفى الوقت الحالى رصدت استثمارات ضخمة تقدر بعدة مليارات من الدولارات الأمريكية لتطوير هذه الصناعات.

أ - ثرمومترات البلورات السائلة

تعتمد صناعة الثرمومترات حاليًا على الخصائص الفيزيائية للبلورات السائلة النيماتية الكوليسترية. ومن أهم هذه الخصائص القدرة على عكس الضوء الساقط عليها بأطوال موجية مساوية لارتفاع السنون (الطبقات الجزيئية) "Pitch". ونظراً لأن هذه السنون تعتمد على درجة الحرارة، وبالتالى فإن الانعكاس اللونى يعتمد أيضاً على درجة الحرارة. وتستعمل مواد البلورات السائلة كبوابة للتحكم فى درجات الحرارة عن طريق تغيير الأطوال الموجية التى تميز الثرمومتر. وبخلط مركبات مختلفة من البلورات السائلة يمكن صنع ثرمومترات ذات مدى حرارى مختلف. وتعتبر ثرمومترات البلورات السائلة سهلة الاستعمال، وتستخدم فى المجالات الطبية والإلكترونية، حيث إن البلورات السائلة ترتبط بالجلد الملاصق لها، ويمكنها من رسم خريطة حرارية لأعضاء الجسم المختلفة. وبالطبع هذه الخرائط الحرارية على درجة كبيرة من الأهمية خاصة فى مجال علاج الأورام التى يكون لها درجات حرارة مختلفة عن الوسط المحيط بها.

والجدير بالذكر أن ثرمومترات البلورات السائلة تستخدم فى مجال الصناعات الإلكترونية، وذلك بالكشف عن التوصيلات الكهربائية السيئة فى الدوائر الكهربية. ويتم ذلك عن طريق التمييز الحرارى فائق الدقة.

ب - التصوير البصرى

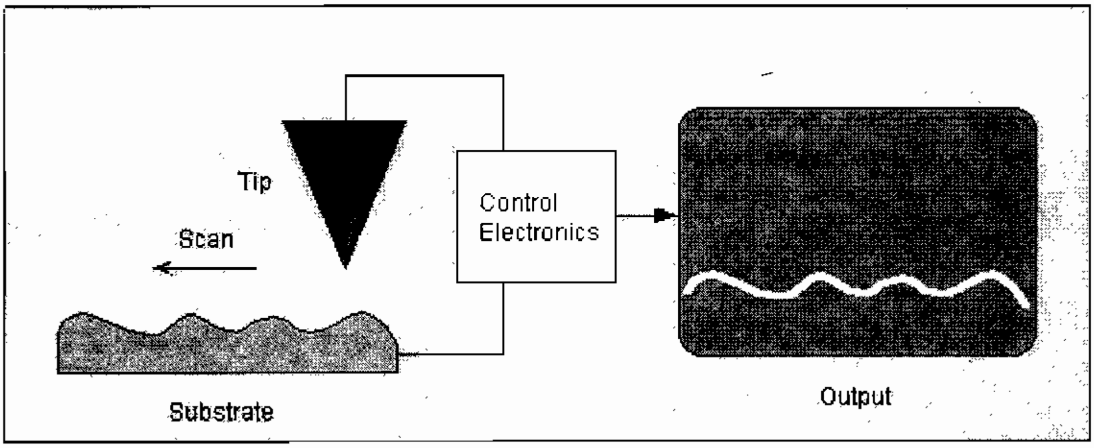
ومن أهم تطبيقات البلورات السائلة التكنولوجية هى التصوير البصرى. فى هذه التكنولوجيا، توضع خلية البلورات السائلة بين طبقتين من الموصلات البصرية. والضوء الساقط على الموصل يزيد من معامل توصيلية المادة للكهرباء. وهذا يسبب تطور المجال الكهربائى فى البلورات السائلة، والتى تعتمد بشدة على الكثافة الضوئية الساقطة. والنموذج الكهربائى المتولد يمكن نقله بواسطة الأقطاب الكهربية فى الخلية، والذى يسمح بتسجيل الصورة. وهذه التكنولوجيا مهمة فى مجال التطبيقات العسكرية، والتى تتطلب مزيداً من البحث والتطوير.

جـ - التطبيقات الأخرى

تستخدم البلورات السائلة فى عديد من التطبيقات مثل عمل الاختبارات الميكانيكية للمواد التى تقع تحت تأثير إجهاد. وفى أجهزة التحكم فى أجهزة الإرشاد الموجى والموجات الراديوية فى الأجهزة الطبية مثل قياس الضغط الانتقالى أثناء السير على الأرض. أما البلورات قليلة الكثافة Low Molar Mass (LMM) فتستعمل لإنتاج الأقراص البصرية والشرائح الفيلمية الإلكترونية، وتستعمل أيضاً كمضمنات للضوء، وفى التصوير الملون. والخصائص الجديدة لأنواع البلورات السائلة (تحت البحث والتطوير) تزيد فى المستقبل القريب من التطبيقات الصناعية والعلمية لهذه المواد التكنولوجية الهامة.

د - المسبار الماسح الميكروسكوبى "Scanning probe microscopy"

هذا الجهاز يعتمد على المسح النفقى الميكروسكوبى والقوة الذرية الميكروسكوبية. ويستعمل فى تصوير الأسطح للمركبات العضوية وغير العضوية مع (أو بالقرب) من التحليل الذرى. وعناصر هذا الجهاز موضحة بالشكل (٤٣). ويستخدم فى عملية المسح النفقى الميكروسكوبى أزميل دقيق حاد يوضع فوق شريحة موصلة، ويطبق عليهما فرق جهد كهربائى صغير. والفجوة بين الأزميل والشريحة يجب أن تكون كبيرة بدرجة كافية، بحيث لايحدث توصيل كهربائى كلاسيكى، ولكنها يجب أن تكون صغيرة بدرجة كافية تسمح للإلكترونات بالخروج النفقى بين الأزميل والسطح. وعمليا وجد أن اتساع هذه الفجوة بين 0.5 - 1.0 n m (1n m= 10^{-9} m). ويمسح هذا الأزميل (Tip) السطح كله، وخلال عملية المسح يكون ارتفاعه ثابتاً لكى يحافظ على سريان التيار



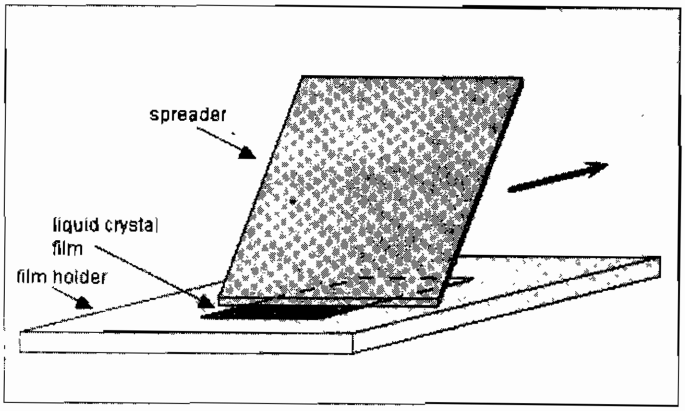
شكل ٤٣ : المسبار الماسح الميكروسكوبى.

الكهربائى الثابت . وبتسجيل الارتفاع عند كل نقطة مكانية من السطح، يمكن عمل خريطة كاملة للسطح المعين، ونظراً لأن دالة الانضمحلال النفقى تكون دالة أسية فى المسافة، فإن الذرات القريبة من الأزميل هى التى تساهم فى إمرار التيار (الحالة المثالية) . ولذلك فإن الصورة الناتجة توضح الذرات المنفردة على السطح.

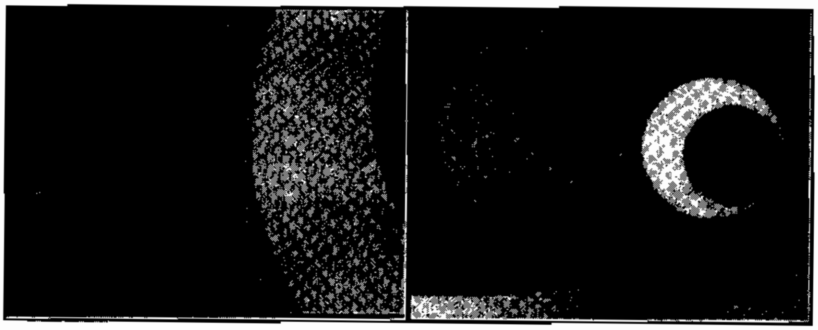
أما فى حالة تكنيك القوة الذرية الميكروسكوبية، فيستخدم فى عمل خرائط السطح الطوبوغرافى . ويتم ذلك بقياس القوة الميكانيكية المؤثرة على الأزميل (بدلاً من قياس التيار الكهربائى المسار خلاله) . وعلى ذلك تستعمل هذه الطريقة فى تصوير الشرائح الموصلة وغير الموصلة .

هـ - الأغشية المعلقة للبلورات السائلة

نظراً إلى أن جزيئات البلورات السائلة تتشكل من تراكيب رقيقة مختلفة عن أغشية الصابون . فيمكن عمل أغشية حرة معلقة من مواد البلورات السائلة فى طورها السميكتى الفيروكهربى . ويتم ذلك كما هو موضح بالشكل [٤٤]، عن طريق تبلل حافة ثقب فى ماسك الأغشية الرقيق. هذا الماسك به مادة البلورات السائلة . بعض



(أ)



(ب)

شكل ٤٤ : (أ) ماسك وموزع الأغشية المعلقة .

(ب) صورة توضح جانباً من هذه الأغشية بعد سحبها مباشرة .

من هذه المادة يمكن سحبه بدقة عبر الثقب بواسطة موزع متجانس. وعموماً تكون الأغشية المسحوبة فى طورها السميكتى A أو C (وكلاهما يكون مائعى التكوين فى تركيب مستوى).

وتتشكل الطبقات السميكتية فى اتجاه مستوى الغشاء الحر، ويكون سمك الطبقة منتظم فى المدى من ١ : مئات من الطبقات التى سحبت من خلال فتحة مساحتها $1cm^2$. وهذه الأغشية تكون مستقرة عدة شهور. وهذه الأغشية الفيلمية تكون مثالية فى دراسة التفاعلات السطحية وتاثير التقليل الحجمى على الأطوار الكثيفة الرخوة.

والصورة الموضحة بالشكل [٤٤] تبين أجزاء غير منتظمة من الطور السميكتى المعلق. هذا الغشاء مصور بواسطة الانعكاس الضوئى بمعامل تكبير منخفض سريعاً بعد سحبه من الثقب مباشرة وسمك الغشاء لايتعدى عدداً صحيحاً من سمك الطبقات السميكتية، وعادة سمك طبقة واحدة حوالى ($30x10^{-10}m$) 30^oA . والمناطق ذات سمك مختلف تبين تداخل الألوان. والصورة الثانية توضح الجزر المتكونة على هيئة مناطق دائرية سميكة طافية على غشاء رقيق.

والجدير بالذكر أنه مازالت هناك أبحاث عديدة تهدف إلى دراسة كيفية الاستفادة من هذه التكنولوجيا فى مجال التطبيقات غير الخطية للبلورات السائلة.

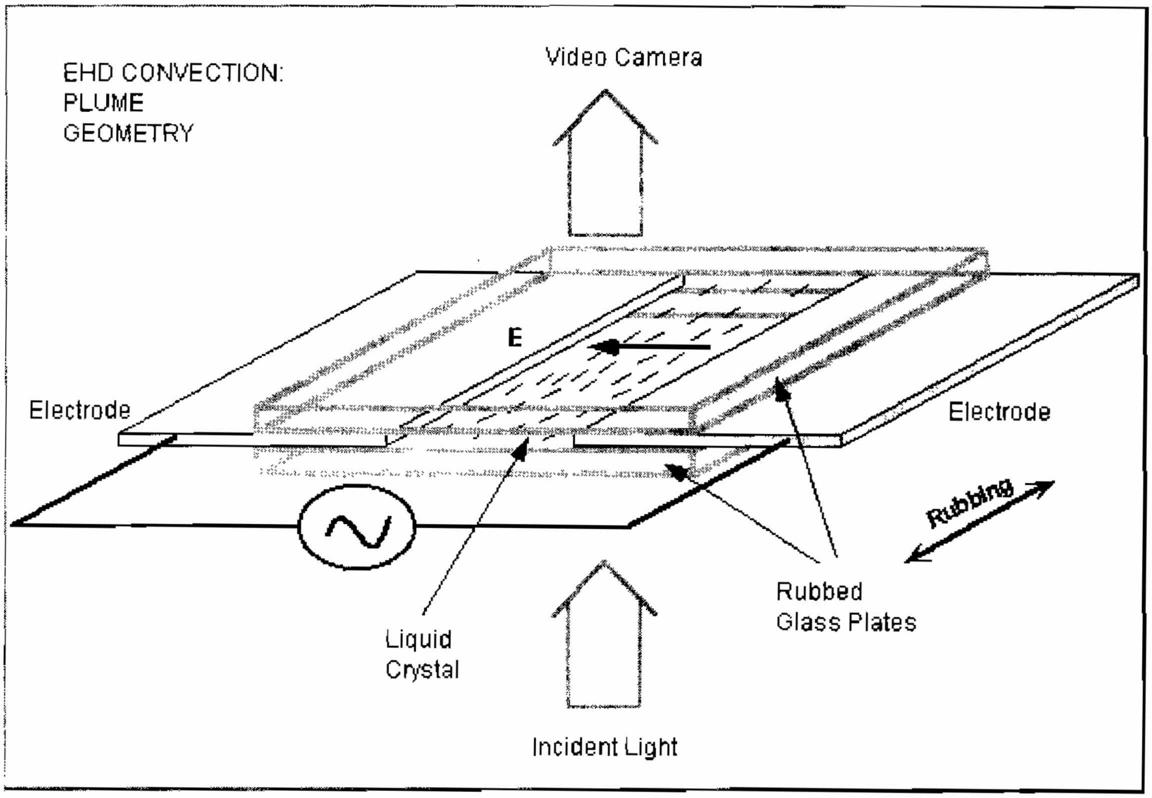
و - التطبيقات الهيدروديناميكية الكهربية للبلورات السائلة:

تتميز البلورات السائلة النيماتية بتأثيراتها الهيدروديناميكية الكهربية.

هذه الخاصية تجعل انسياب البلورات السائلة محثثاً بواسطة تطبيق المجال الكهربائى الخارجى. هذا الانسياب مرتبط بإعادة توجيه الجزيئات فى العينة وإمرار التيار الكهربائى.

ومن أكثر تشكيلات المناطق بالعينة غير المستقرة هى المناطق المعروفة باسم مناطق ويليام "William - domains" : وهى معرفة عند قيمة محددة للمجال الكهربائى (القيمة الحرجة) وتكون هذه المناطق دورية فى الزمن، وعند شدة مجال كهربائى مرتفع.

وبزيادة شدة المجال الكهربائى تصبح هذه المناطق شبه دورية فى الزمن، بعد ذلك تتطور انسيابية دوامية (توربينية) لها سرعة مجال مكانية تتغير مع الطول والزمن وتقل بزيادة شدة المجال الكهربى.

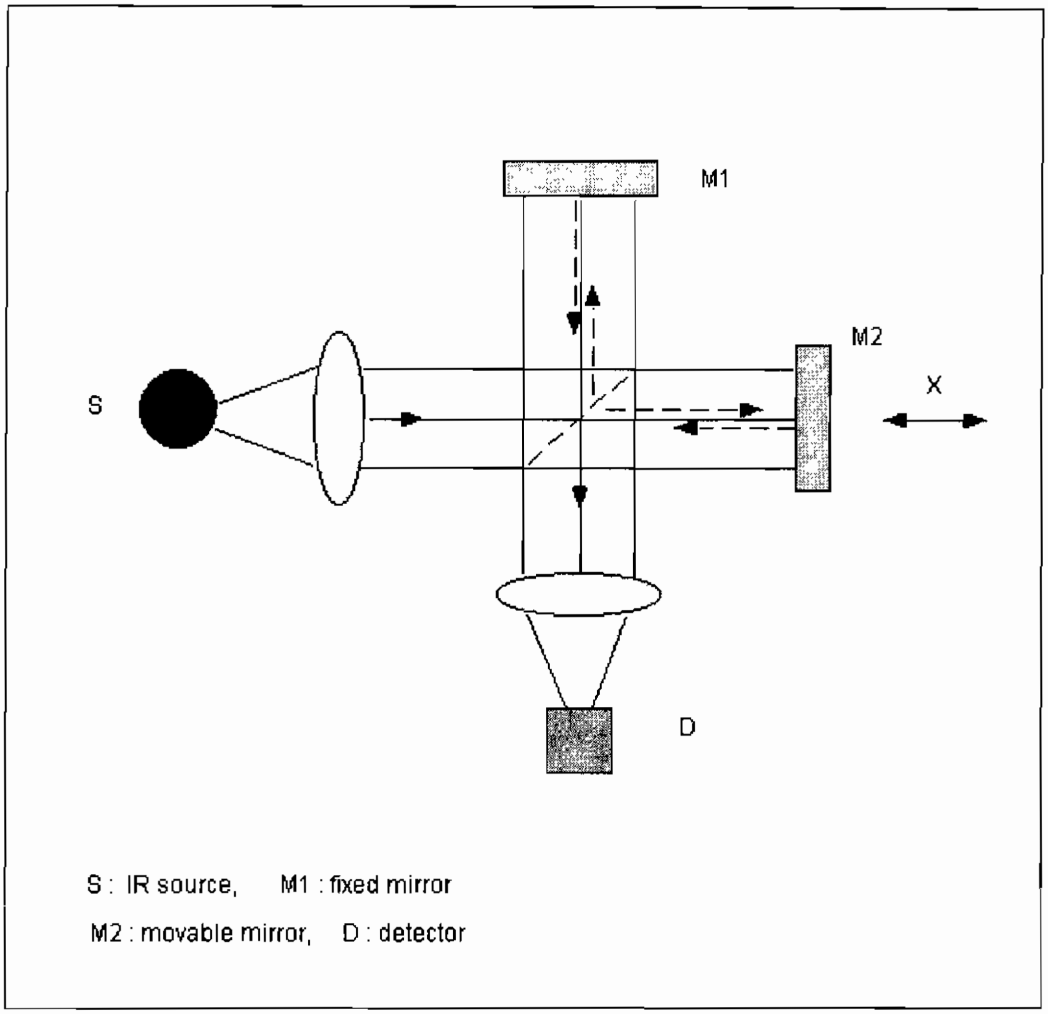


شكل ٤٥ : الشكل الهندسى للحركة الهيدروديناميكية الكهربية.

والجدير بالذكر أن نظم البلورات السائلة الهيدروديناميكية الكهربية تعطى عدداً من المميزات لدراسة النماذج التشكيلية، ليس فقط بمقياس الطول والزمن، ولكن أيضا برصد النماذج المشاهدة بصرياً، حيث إن التشوهات فى اتجاه الموجه ينتج عنها مضمنات فى معامل الانكسار. وتستعمل عادة هذه الطريقة فى دراسة التشوه فى القطرات المعلقة من البلورات السائلة النيماتية، وكذلك التغيرات الطورية فى المادة كدالة فى المجال الكهربائى المطبق. وهذا يساعد على تسهيل انتقال الغازات خلال الأغشية وبناء تيارات الحمل الكهربائية. وأيضا دراسة التراكيب الريشية (plume) فى المناطق الدوامية للحركة الهيدروديناميكية الكهربية. والشكل [٤٥] يوضح الرسم الهندسى لهذه التجربة.

ز) أطياف تحولات فوريير للبلورات السائلة فى مدى الأشعة تحت الحمراء:

من المعروف لدينا، أن مطياف تحولات فوريير فى مدى الأشعة تحت الحمراء "Fourier Transformation Infrared (FTIR)" تعتمد أساساً على تكتيك التداخل الضوئى «لميكلسون» كما هو موضح بالشكل [٤٦]: فالشعاع الضوئى من المصدر (S) تجمع فى البؤرة عند قاسم للأشعة الذى يسمح بعبور نصف الحزمة الضوئية على

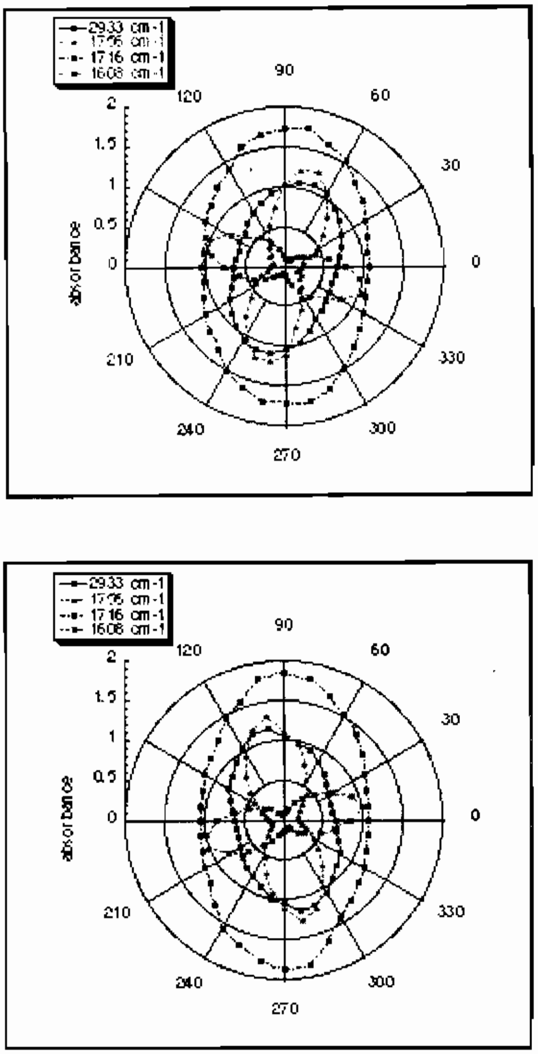


شكل ٤٦ : التداخل الضوئى لميكلسون

امتداد الأشعة الساقطة وتنعكس هذه الأشعة من المرآة الثابتة M_1. والنصف الآخر من الأشعة ينعكس فى اتجاه عمودى على مسار الأشعة الساقطة، ويسقط على المرآة المتحركة M_2، ثم ينعكس مرة ثانية على مساره. ويتجمع الشعاعان المنعكسان عند الكاشف D.

وبتغيير شدة الأشعة تحت الحمراء الساقطة مع فرق فى المسار البصرى تنتج تحولات فورييه للأشعة الساقطة. والامتصاص الطيفى للأشعة تحت الحمراء يمكن قياسه بواسطة مقياس التداخل الضوئى باستعمال العينة أو بدونها. وبالمقارنة بين هذين الحالتين يمكن الحصول على الأطياف المطلوبة.

وتعتبر هذه الطريقة سريعة جداً وذات كفاءة عالية وتتغلب على مساوئ القياسات البصرية لقياس الأطوال الموجية بواسطة جهاز المونوكرومتر. وهذا التكنيك يعتبر أداة قوية لفحص التشكيلات الجزيئية للبلورات السائلة وتجمعاتها الدورانية



شكل ٤٧ : تحولات فوريير للبلورات السائلة فى المدى الطيفى للأشعة تحت الحمراء.

على طول أطوارها اللاانطباقية السميكتية. كما تعطى التراكيب الاتجاهية للمجاميع الكيميائية المشتركة فى تكوين المادة مثل مئات التراكيب الكربونية ومجموعاتها اللاانطباقية والتى تجعل الاستقطابية معتمدة على شدة المجال الكهربائى المطبق. (انظر الشكل ٤٧).

الخـــلاصـــة

مما سبق يتضح لنا أن البلورات السائلة هى مواد تشاهد فى حالتها البورية (الصلبة)، والسائلة المتناحية "isotropic"، وتتحدد أنواع البلورات السائلة بتوزيع النظام الجزيئى بها.

فكما ذكرنا سلفًا نرى أن البلورات السائلة النيماتية تتميز بأن جزيئاتها غير منتظمة فى المكان ولكنها تميل أن تأخذ الاتجاه نفسه على مسار الموجه. وتعتمد الخواص الفيزيائية لتلك المواد على تغيير الترصيص الجزيئى بالنسبة للموجه. فإذا كان الترصيص كبيرًا تكون المادة لامتناحية "anisotropic"، أما إذا كان الرص صغيرًا تكون المادة متناحية "isotropic" عادة وهناك أنواع خاصة من البلورات السائلة تسمى البلورات السائلة النيماتية اللا انطباقية. وتتميز هذه المواد بانعكاس الضوء المستقطب دائريًا. ويستعمل التعبير اللا انطباقى لتغيير الشكل الجزيئى بالمقارنة بالطور الكوليستيرى.

وتتواجد أحيانًا البلورات السائلة فى الطور السميكتيكى، وكلمة سميكتيك "Smectic" المشتقة من اللغة اليونانية القديمة تعنى محلول الصابون. وهذا يشرح حقيقة تواجد المادة فى حالة سميكة انزلاقية. وتتميز هذه المواد بأن جزيئاتها ترتب فى نظام انتقالى غير متواجد فى الطور النيماتى، حيث تحتفظ الجزيئات بجانب تماثلها للدوران إلى الترصيص فى طبقات أو مستويات وبالتالى تتقيد حركتها.

والبلورات السائلة قسمان: أحدهما ذو انتحاء حرارى "Thermotropic" والآخر ذو انتحاء غروى "Lyotropic" فالبلورات السائلة ذات الانتحاء الحرارى تعرف بأنها تلك المواد التى تتكون فى حالة التبلور السائلى بواسطة الحث الحرارى.

ويتم ذلك إما برفع درجة حرارة المادة الصلبة أو بخفض درجة حرارة السائل. وهذا النوع ينقسم بدوره إلى:

١ - بلورات سائلة ثنائية الصورة البلورية "enantiotropy" فى هذه الحالة تتغير المادة إلى الحالة البلورية السائلة برفع درجة حرارة المادة الصلبة أو خفض درجة حرارة السائل.

٢ - بلورات سائلة وحيدة الصورة البلورية "monotropy" فى هذه الحالة تتغير المادة إلى الحالة البلورية السائلة إما بزيادة درجة حرارة المادة الصلبة أو فقط بخفض درجة حرارة السائل.

وبصفة عامة، تحدث الأطوار البينية للانتحاء الحرارى بسبب قوة التفريق الجزيئى فى حالة التباين فى النواحى المكانية أو الاتجاهية. وكذلك التفاعل بين طبقات الترصيص الجزيئى. أما البلورات السائلة ذات الانتحاء الغروى فتحدث نتيجة تأثير المذيبات وليس نتيجة تغيير درجات الحرارة.

فالأطوار البينية للانتحاء الغروى تحدث نتيجة لحث المذيب لتراكم المكونات البينية للمادة على شكل تراكيب لجزيئات غروية فى وجود المذيب . وبالتالى تنتهى المواد الغروية غير المتآلفة فى المحلول إلى مواد غروية متآلفة به . وبزيادة تركيز المحلول وتبريدة، يزداد حجم الجزيئات الغروية وتلاحمها . وبفصل هذه المكونات يمكن الحصول على أشكال جديدة متنوعة من البلورات السائلة .

وفى الوقت الحالى يزداد اهتمام العلماء فى جميع أنحاء العالم بنوع آخر من هذه المواد تسمى البلورات السائلة الفيروكهربية . فهذه المواد تغطى مساحة كبيرة من فهم الخواص الفيزيائية للمواد الكثيفة والربط بينها وبين الخصائص الماكروسكوبية للمواد العضوية . فهذه المواد بجانب سلوكها غير العادى الطورى والإنشائى تكون لها تأثيرات ضوئية غيرعادية، ولذلك، يتوقع الخبراء والعلماء أن تفتح هذه المواد آفاقا تكنولوجية جديدة ذات تطبيقات استراتيجية هامة للمجالات المدنية والعسكرية . على سبيل المثال تستعمل هذه المواد فى المجالات الآتية :

١ – أجهزة التحكم الضوئية الحديثة .

٢ – مضمنات ضوئية .

٣ – شاشات رقيقة للعرض ذات أبعاد كبيرة ولا تحتاج إلى طاقة تشغيل عالية .

٤ – حافظة معلومات (ذاكرة) كهروضوئية .

٥ – فى التطبيقات البصرية التى تعتمد على الخصائص الضوئية غير الخطية .

والجدير بالذكر أن عديداً من الدول تهتم فى الوقت الحالى بتصنيع هذه المواد الاستراتيجية بغرض الاستفادة من مميزاتها التكنولوجية مما ينعكس على القدرات الخاصة فى تحديث المعدات التكنولوجية الحالية .

ونظراً لاهمية هذا الموضوع، فقد أصبح من الضرورى إنشاء مركز قومى لتكنولوجيا المواد البلورية السائلة فى مصر يكون من أهدافه ما يلى :

١ – تنمية برامج البحوث الفيزيائية والكيميائية وتطوير تكنولوجيا المواد البلورية السائلة .

٢ – تصنيع المواد البلورية السائلة بأنواعها المختلفة .

٣ – تدريب الكوادر العلمية والفنية للتعامل مع هذه التكنولوجيا واكتساب المهارات والخبرات .

٤ – بناء قاعدة بيانات وجمع كافة المعلومات العلمية والتكنولوجية للوقوف على التقدم المتسارع فى هذا المجال بما يخدم الأهداف القومية .

٥ – إرساء التعاون العلمى مع المراكز العلمية الدولية المتخصصة فى هذا المجال .

٦ – تطوير خطة البعثات الخارجية بغرض اكتساب المهارات اللازمة طبقا لأولويات مدروسة .

Glossary

(a) :

Activation energy	طاقة تنشيط
Aggregation	تراكم
Agitation	تأثر
Alloy	سبيكة
Amorphous	لا بلورى
Analogy	مماثل
Anelasticity	لا مرونة
Anisotropy	لا متناحى -- متباين الخواص في النواحى أو الاتجاهات

(b) :

Base - centered	متمركز القاعدة
Binding energy	طاقة الترابط
Birefringence	انكسار ثنائى (مزدوج)
Body - centered	متمركز الجسم
Boundary condition	شرط حدى
Bulk's modulus	معامل المرونة الحجمى

(C) :

Capillary	الخاصية الشعرية
Charge carrier	حامل الشحنة
Chirality	لا انطباقية -- مرآوية
Classical theory	النظرية الكلاسيكية
Coercive force	قوة قهرية
Colloidal	شبه غروى -- غروانى
Compressibility	انضغاطية
Concentration	تركيز
Conservation law	قانون البقاء

Contact angle	زاوية التلامس
Coordination number	عدد التناسق
Coulomb force	قوة كولومية
Coupling	ربط بينى
Crystal	بلورة
Crystalline	بلورى
Crystal growth	إنماء بلورى
Crystal system	نظم بلورية
Covalent crystal	بلورة تساهمية
Cubic	تكعيبى
(d) :	
Degree of freedom	درجات حرية
Degeneracy	تحلل
Density of packing	كثافة الرص
Deviation	حيود
Diamagnetic	ديامغناطيسية
Dielectric	عازل
Dielectric constant	ثابت العزل
Diffusion	انتشار
Discrete levels	مستويات منفصلة
Dislocation	انخلاع (تشوه)
Disorder	فوضى
Dispersion relation	علاقة التفريق
Dipole	ثنائى القطب
Domain	منطقة
Drift velocity	السرعة المنجرفة

(e):

Electron	إلكترون (مكهرب)
Electric dipole	ثنائى القطب الكهربائى
Electronic polarizability	استقطاب الكترونى
Electrostriction	الانضغاط الكهربائى
Emission	انبعاث
Enantiotropy	ثنائية الصورة البلورية
Enerty density	كثافة الطاقة
Epilipsy	صرع
Eventual	مقبول
Extrinsic	دخيل – خارجى

(f):

Face - centered	متمركز الوجه
Ferroelectric	فيروكهربائية
Ferromagnetic	فيرومغناطيسية
Flexible	مطاطة

(g):

Gas	غاز

(h):

Habit	عادة
Harmonic	إيقاعى – متناغم
Hexagnoal	سداسى
Hierachy	هرمية
Hydrometer	هيدرومتر
Hysteresis	تخلفية

(i) :

Impurities	شوائب
Inherent	ملازم – جوهرى

Intrinsic	ذاتى
Inversion	عكسى
Invariant	ثابت – غير متغير
Ionic crystal	بلورة أيونية
Ionic polarization	استقطاب أيونى
Isotropic	متناحى
(l) :	
Lattice	شبكية
Lattice defect	عيوب الشبيكة
Lattice parameter	البعد الشبيكى
Lattice point	نقطة شبيكة
Liquidus	خط السائل
Local	مكانى أو محلي
Locally	محليًا أو مكانيًا
Local field	مجال محلى
Lyophilic	غروانى متآلف
Lyophobic	محلول غروانى لا يألف وسط انتشاره
Lyotropic	انتحاء غروى
(m):	
Macroscopic	ماكروبية
Magnetic moment	عزم مغناطيسى
Magnetic susceptibility	قابلية مغناطيسية
Mean free path	متوسط المسار الحر
Mechanism	ميكانيكية
Metal	فلز
Metallic crystal	بلورة فلزية
Miller indices	معاملات ميلر
Molecular crystal	بلورة جزيئية

Moment	عزم
Monochromatic	أحادى اللون
Monoclinic	احادية الميل
Monotropic	وحيد الصورة البلورية
(n) :	
Nematic	خطى متوازي التوجه
Nucleus	نواة
(o) :	
Orbit	مدار
Orientation	اتجاهية
Orientation polarizability	استقطاب اتجاهى
Order-disorder transformation	تحول من منظم إلى غير منظم
Orthorhombic	نظام معين – نظام التبلور المعينى
(p):	
Packing	الرص
Paradox	تناقض ظاهري
Paraelectric	متساحت كهربائيا
Permittivity	سماحية
Phase	الطور
Phase space	الفراغ الطوري
Phase transformation	التحول الطوري
Photon	الفوتون
Piezoelectric	الظاهرة الكهروضغطية
Polarization	استقطاب
Polarization catastrophy	كارثة استقطابية
Polycrystalline	متعدد البلورية
Pressure	ضغط
Pyroelectric	الظاهرة الكهروحرارية

(q):

Quantum	كم
Quantization	تكمية
Quadrupolar	رباعى الأقطاب

(r):

Remenant	متبقية
Remenant magnetism	مغناطيسية متبقية
Relaxation	إرخاء
Reveals	يكشف

(s):

Scattering	استطارة
Seed crystal	بذرة البلورة
Shearing force	قوة قاصة
Smectic	سطحى توازى التوجه
	- كلمة مشتقة من اللغة اليونانية يعنى « محلول الصابون »
Solid solution	محلول صلب
Solidus	خط الجوامد
Spherical	كرية
Spiral net	شبكة حلزونية
Strain	انفعال
Stress	إجهاد
Surface tension	التوتر السطحى
Sublattice	شبيكة فرعية

(t):

Tetragonal	رباعى الزوايا والاضلاع
Tensial	توترى
Thermotropic	انتحاء حرارى

Transport Phenomena	ظواهر الانتقال
transition	الانتقال
Triclinic	ثلاثى الميل
Trigonal	ثلاثى الوجه
Twined	متشابك
(u):	
Ubiquity	كلية – الوجود
Uncertainty principle	مبدأ عدم اليقين
(v):	
Valence	التكافؤ
Van der Waal forces	قوى ڤان درڤال
Violation	انتهاك
Viscosity	اللزوجة
(w):	
Wind up	نهاية

المراجع :

1. GENERATION OF ACOUSTIC SIGNALS IN LIQUIDS BY RUBY LASER-INDUCED THERMAL STRESS TRANSIENTS," E.F. Carome, N.A. Clark and C.E. Moeller, Applied Physics Letters **4**, 95-97 (1964).
2. "HYPERSONIC VELOCITY MEASUREMENTS IN LIQUID DICHL OROMETHANE, " N.A. Clark, C.E. Moeller, J.A. Bucaro and E.F. Carome , Journal of Chemical Physics **44**, 2528-2529 (1966).
3. "INTENSE RUBY LASER-INDUCED ACOUSTIC IMPULSES IN LIQUIDS," E.F. Carome, C.E. Moeller and N.A. Clark, Journal of the Acoustical Society of America **40**, 1462-1466 (1966).
4. "OBSERVATION OF THE NATURAL LINE WIDTH OF THE BRILLOUIN COMPONENTS OF LIGHT SCATTERED BY A SOLID, "J.H. Lunacek, N.A. Clark, P.D. Lazay and G.B. Benedek, Bulletin of the American Physical Society **13**, 183 (1968).
5. "THE RAYLEIGH-BRILLOUIN SPECTRA OF AMMONIUM CHL ORIDE," P.D. Lazay, J.H. Lunacek, N.A. Clark and G.B.Benedek, in *Light Scattering Spectra of Solids*, G.B. Wright, Ed., Springer-Verlag, New York, 593-602 (1969) .
6. "A STUDY OF BROWNIAN MOTION USING LIGHT SCATTERING," N.A. Clark and J.H. Lunacek, American Journal of Physics **37**, 853-854 (1969).
7. "A STUDY OF BROWNIAN MOTION USING LIGHT SCATTERING," N.A. Clark, J.H. Lunacek and G.B. Benedek, American Journal of Physics **38**, 575-585 (1970).
8. "MEASUREMENT OF THE ROTATIONAL DIFFUSION COEFFICIENT OF LYSOZYME BY DEPOLARIZED LIGHT SCATTERING: CONFIGURATION OF LYSOZYME IN SOLUTION," S.B. Dubin, N.A, Clark and G.B. Benedek, Journal of Chemical Physics **54**, 5158-1564 (1971).
9. "STATIC AND DYNAMIC BEHAVIOR NEAR THE ORDER-DISORDER TRANSITION OF NEMATIC LIQUID CRYSTALS," T.W. Stinson, J.D. Litster and N.A. Clark, Journal de Physique **33**-C1, 69-75 (1972).
10. OBSERVATION OF A FREQUENCY-DEPENDENT THERMAL CONDUCTIVITY IN A THERMALLY RELAXING POL-

YATOMIC GAS," N.A. Clark, G.R. Mellman and T.J. Greytak, Physical Review Letters **29**, 150-154 (1972).

11. PREPARATION OF ORIENTED MULTILAMELLAR ARRAYS OF NATURAL AND ARTIFICIAL BIOLOGICAL MEMBRANES," N.A. Clark and K.J. Rothschild, in *Methods in Enzymology* 87, L. Packer, Ed., Academic Press, New York (1982) 32,-333.
12. "STROBOSCOPIC MICROSCOPY OF FAST ELECTRO-OPTIC SWITCHING IN A FERRO-ELECTRIC SMECTIC C LIQUID CRYSTAL," M.A. Handschy and N.A. Clark, Applied Physics Letters **41**, 39-41 (1982).
13. "X-RAY DIFFRACTION AND ELECTRON MICROSCOPE STUDY OF PHASE SEPARATION IN ROD OUTER SEGMENT PHOTORECEPTOR MEMBRANE MULTILAYERS", S.M. Gruner, K.J. Rothschild, and N.A. Clark, Biophysical Journal **39**, 241-251 (1982).
14. "LATTICE DYNAMICS OF COLLOIDAL CRYSTALS," A.J. Hurd, N.A. Clark, R.C. Mockler and W.J. O'Sullivan, Physical Review A **26**, 2869-2881 (1982).
15. "CHIRAL SMECTIC C OR H LIQUID CRYSTAL ELECTRO-OPTICAL DEVICE," N.A. Clark and S.T. Lagerwall, U.S. Patent # **4**, 367-924 (1983).
16. "MULTIDETECTOR SCATTERING AS A PROBE OF LOCAL STRUCTURE IN DISORDERED PHASES," N.A Clark, B.J. Ackerson and A.J. Hurd, Physical Review Letters **50**, 1459-1461 (1983).
17. SHEARED COLLOIDAL SUSPENSIONS," B.J. Ackerson and N.A. Clark, Physica **118 A**, 221-249 (1983).
18. FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL ELECTRO-OPTICS IN THE SURFACE STABILIZED STRUCTURE," N.A. CLARK, M.A. Handschy and S.T. Lagerwall, Molecular Crystals and Liquid Crystals **94**, 213-233 (1983).
19. "FIELD INDUCED FIRST ORDER ORIENTATION TRANSITIONS IN FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS," M.A. Handschy, N.A. Clark and S.T. Lagerwall, Physical Review

Letters **51**, 471-474 (1983).

20. "LIQUID STRUCTURE UNDER SHEAR: COMPARISON BETWEEN COMPUTER SIMULATIONS AND COLLOIDAL SUSPENSIONS," H.J. Hanley, J.C.Rainwater, N.A. Clark and B.J.Ackerson, Journal of Chemical Physics **79**, 4448-4458 (1983).
21. "CROSS-CORRELATION INTENSITY FLUCTUATION SPECTROSCOPY APPLIED TO COLLOIDAL SUSPENSIONS," "B.J. Ackerson and N.A. Clark, in Concentrated Colloidal Dispersions, Faraday Discussions of the Chemical Society of London **76**, 219-228 (1983).
22. "A HEAT CAPACITY STUDY OF PHASE TRANSITIONS IN THE FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL (R-) HEXYLOXYBENZYLIDENE p'-AMINO-2-CHOLORPROPYL CINNAMATE (HOBACPC), "S.C,. Lien, J.M. Viner, C.C. Huang and N.A. Clark, Molecular Crystals and Liquid Crystals **100**, 145-151 (1983).
23. "ELASTIC RESONANCE OF A LIQUID CRYSTAL BLUE PHASE", N.A. Clark, S.T. Vohra and M.A. Handschy, Physical Review Letters 52, 57-60 (1984).
24. "DYNAMIC RESPONSE OF MOLECULAR ORIENTATION IN FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS," P.G. Amaya, M.A. Handschy and N.A. Clark, Optical Engineering 23, 261-264 (1984).
25. *Physics of Complex and Supermolecular Fluids,* Proceedings of the International Symposium on Complex and Supermolecular Fluids, Annandale, NJ, 1985, S.A. Safran and N.A. Clark, Eds. John Wiley & Sons, New York (1987).
26. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, Volumes **141, 144, 146**, Proceedings of the Eleventh International Liquid Crystals Conference, M.M. Labes J.D. Litster, N.A. Clark, M.Lee, P. Collings and N. Amer, Eds. (1987).
27. "FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL SPATIAL LIGHT MODULATORS," D. Armitage, J.I. Thackara, N.A. Clark and M.A. Handschy, Optical Computing Technical Digest **11**, 221-223 (1987).
28. *Incommensurate Crystals, Liquid Crystals, Liquid Crystals and Quasi-Crystals,* J.F. Scott and N.A. Clark, Eds., NATO ASI Series B: Physics 166, Plenum Press, New York (1987).

29. "MODEL FOR THE MOLECULAR ORIGINS OF THE POLARIZATION IN FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS," D.M. Walba and N.A. Clark, Proceedings of the Society of Photo-optical Instrumentation Engineers 825, 81-87 (1987).

30. "X-RAY STUDY OF FREELY SUSPENDED FILMS OF A MULTILAMELLAR LIPID SYSTEM," G.S. Smith, C.R. Safinya, D.Roux and N.A. Clark, Molecular Crystals and Liquid Crystals 144, 235-255 (1987).

31. "ELEKTRO-OPTISK INNRETNING AV TYPEN FLYTENDE KRYSTALL, "S.Y.T. Lagerwall and N.A. Clark, Norwegian Patent # **156**, 846 (1987).

32. "THE SMECTIC C 'CHEVRON, A PLANAR LIQUID CRYSTAL DEFECT: IMPLICATIONS FOR THE SURFACE STABILIZED FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL (SSFLC) GEOMETRY," N.A. Clark and T.P. Rieker, Physical Review A: Rapid Communications **37**, 1053-1056 (1988).

33. "STRUCTURE OF THE L°PHASE IN A HYDRATED PHOSPHATIDYLCHOLINE MULTIMEMBRANE," G.S. Smith, E.B. Sirota, C.R. Safinya and N.A. Clark, Physical Review Letters **60**, 813-816 (1988).

34. NANOMETER MOLECULAR LITHOGRAPHY," K. Douglas, N.A. Clark and K.J. Rothschild, *Molecular Electronic Devices* **3**, F. Carter, ed., (1988) 29-38.

35. "DIRECT MEASUREMENT OF ORIENTATION CORRELATIONS IN A TWO-DIMENSIONAL LIQUID CRYSTAL SYSTEM,"D.H. Van Winkle and N.A. Clark, Physical Review A **38**, 1573-1589 (1988).

36. "COLLOIDAL CRYSTALS," N.A. Clark, in *Physical Chemistry Source Book,* Sibylp. Parker, Ed., McGraw-Hill, New York, (1988) 211-213.

37. "SELF-ASSEMBLED NANOMETRE LITHOGRAPHIC MASKS AND TEMPLATES AND METHOD FOR PARALLEL FABRICATION OF NANOMETER SCALE MULTI-DEVICE STRUCTURES," N.A. Clark, , K.Douglas and K.J.Rothschild, U.S. Patent # **4**, 728,591 (1988).

38. X-RAY STUDIES OF ALIGNED STACKED SURFACTANT MEMBRANES," E.B. Sirota, G.S. Smith, C.R.Safinya, R. Plano and N.A. Clark, Science **242**, 1406-1409 (1988).

39. " SURFACE ORIENTATION TRANSITIONS IN SURFACE STABILIZED FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL STRUCTURES", J.-Z. Xue, N.A. Clark and M.R. PURPLE MEMBRANE FRAGMENTS," N.A. Clark, K.J. Rothschild, B.A. Simon and D.A. Luippold, Biophysical Journal **31**, 65-96 (1980).

40. "A MICROSECOND SPEED, BISTABLE, THRESHOLD-SENSITIVE LIQUID CRYSTAL DEVICE," N.A. Clark and S.T.Lagerwall, in *Liquid Crystals of One and Two Dimensional Order,* W.Helfrich, Ed., Springer, New York (1980) 222-226.

41. "HYDRODYNAMIC PROPERTIES OF TWO DIMENSIONALLY ORDERED LIQUID CRYSTALS," J. Prost and N.A, Clark, in *Liquid Crystals* S. Chandrasekhar, Ed., Heyden, London (1980) 53-58.

42. " MECHANICAL BLEACHING OF PURPLE MEMBRANE," N.A. Clark, K.J. Rothschild and D.E. Bass, Federation Proceedings **39**, 1846 (1980).

43. "PROCESS FOR PRODUCING A MOLECULARLY ORIENTED FILM, "K.G. Rothschild and N.A. Clark, U.S. Patent # **4**, 241, 500 (1980).

44. "SHEAR INDUCED MELTING, "B.J. Ackerson and N.A. Clark, Physical Review Letters **46**, 123-126 (1981).

45. "MEAN FIELD THEORY OF LIQUID CRYSTALLINE PHASES OF DISC-SHAPED MOLECULES," G.E. Feldkamp, M.A. Handschy and N.A. Clark, Physics Letters **85A**, 359-362 (1981).

46. "CHIRALLY ASYMMETRIC REVERSIBLE PHOTO-BLEACHING IN PURPLE MEMBRANE FILMS," N.A. Clark and K.J. Rothschild, Biophysical Journal **33**, 217 a (1981).

47. "PHYSICS OF FERROELECTRIC FLUIDS: THE DISCOVERY OF A HIGH-SPEED ELECTRO-OPTIC SWITCHING PROCESS IN LIQUID CRYSTALS," N.A. Clark and S.T.Lagerwall, in *Recent Developments in Condensed Matter Physics* **5**, J.T. Devreese, Ed., Plenum Press, New York (1981) 309-319.

48. "MICROSCOPIC STRUCTURE OF SHEARED COLLOIDS," B.J.

Ackerson and N.A. Clark, in *Proceedings of the NATO Advanced Study Institute on Scattering Techniques Applied to Molecular and Nonequilibrium Systems*, S.H. Chen, B. Chu and R.Nossal, Eds., Plenum, New York (1981) 781-786.

49. "ELASTIC LIGHT SCATTERING BY SMECTIC A FOCAL CONIC DEFECTS," N.A. Clark and A.J. Hurd, Journal de Physique **43**, 1159-1165 (1982).

50. "FREELY SUSPENDED STRANDS OF TILTED COLUMNAR LIQUID CRYSTAL PHASES: ONE DIMENSIONAL NEMATICS WITH ORIENTATIONAL JUMPS," D.H. Van Winkle and N.A. Clark Physical Review Letters **48**, 1407-1410 (1982).

51. "INFRARED ABSORPTION OF PHOTORECEPTOR AND PURPLE MEMBRANES," K.J. Rothchild, R. Sanches and N.A. Clark, in *Methods in Enzymology* 88, L. Packer, Ed., Academic Press, New York (1982) 696-714.

52. "SURFACE STABILIZED FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL ELECTRO-OPTICS: NEW MULTISTATE STRUCTURES AND DEVICES," N.A. Clark and S.T. Lagerwall, Ferroelectrics **59**, 25-67 (1984).

53. "STRUCTURES AND RESPONSES OF FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS IN THE SURFACE-STABILIZED GEOMETRY, "M.A. Handschy and N.A. Clark, Ferroelectrics **59**, 69-116 (1984).

54. "SYNCHROTRON X-RAY STUDY OF THE ORIENTATIONAL ORDERING D2-D1 STRUCTURAL PHASE TRANSITION OF FREELY SUSPENDED DISCOTIC STRANDS IN HAT11, "C.R. Safinya, K.S. Liang, W.A. Varady, N.A. Clark and G.Anderson, Physical Review Letters **53**, 1172-1175 (1984).

55. "SHEAR INDUCED PARTIAL TRANSLATIONAL ORDERING OF A COLLOIDAL SOLID, "B.J. Ackerson and N.A. Clark, Physical Review A **30**, 906-918 (1984).

56. "DIRECT MEASUREMENT OF ORIENTATION CORREL ATIONS: OBSERVATION OF THE LANDAU-PEIERLS DIVERGENCE IN A FREELY SUSPENDED TILTED SMECTIC FILM," D.H. Van Winkle and N.A. Clark, Physical Review Letters **53**, 1157-1160 (1984).

57. "FAST AND BISTABLE ELECTRO-OPTICS USING FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS," N.A. Clark, S.T. Lagerwall and J. Wahl, *Proceedings of the Fourth Display Research Conference (Eurodisplay 1984) of the Society for Information Display*, (1984) 73-76.

58. *Ferroelectrics*, Volumes **58** and **59**, Special Issue on Ferroelectric Liquid Crystals, R. Blinc, N.A. Clark, J. Goodby, A. Pikin and K. Yoshino, Eds. (1984).

59. "CHIRAL SMECTIC C OR H LIQUID CRYSTAL ELECTRO-OPTICAL DEVICS AND PROCESS OF MAKING THE SAME," N.A. Clark and S.T. Lagerwall, European Patent # **32**, .362 (1984).

60. "CRITICAL BEHAVIOR NEAR A VANISHING MISCIBILITY GAP," R.G. Johnston, N.A. Clark, P. Wiltzius and D.S. Cannell, Physical Review Letters **54**, 49-52 (1985).

61. "CO-EXISTING LYOTROPIC LIQUID CRYSTALS: COMMENSURATE, FACETED AND CO-PLANAR SINGLE HEXAGONAL (HII) DOMAINS IN LAMELLAR PHOTORECEPTOR MEMBRANES," S.M. Gruner, K.J. Rothschild, W.J. DeGrip and N.A. Clark, Journal de Physique **46**, 193-201 (1985).

62. "CHARACTERIZATION OF THE LOCAL STRUCTURE OF FLUIDS BY APERTURED CROSS-CORRELATION FUNCTIONS", B.J. Ackerson, T.W. Taylor and N.A. Clark, Physical Review A **31**, 3183-3193 (1985).

63. "LASER INDUCED BUCKLING OF A THIN FREE-STANDING CRYSTAL FILM," N.A. Clark, P.W. Young and J.F. Scott, Applied Optics **24**, 3685-3686 (1985).

64. FRICTION FACTORS FOR A LATTICE OF BROWNIAN PARTICLES," A.J. Hurd, N.A. Clark, R.C. Mockler and W.J. O'Sullivan, Journal of Fluid Mechanics 153, 401-416 (1985).

65. "POLYMER MICRODISCS," N.A. Clark, Journal de Physique Lettres **46**, L277-L281 (1985).

66. "SURFACE MEMORY EFFECTS IN LIQUID CRYSTALS: INFLUENCE OF SURFACE COMPOSITION," N.A. Clark, Physical Review Letters **55**, 292-295 (1985).

67. FLUCTUATIONS IN A FREELY SUSPENDED FERROELEC-

TRIC LIQUID CRYSTAL FILM," C.Y. Young, R.Pindak, N.A. Clark and R.B. Meyer, Physical Review Letters **40**, 773-776 (1978).

68. "OBSERVATION OF EXTENDED BOUNDARY LAYERS IN THE PERMEATIVE FLOW OF A SMECTIC A LIQUID CRYSTAL AROUND AN OBSTACLE," N.A. Clark, Physical Review Letters **40**, 1663-1666 (1978).
69. "ELECTRIC FIELD INDUCED BEND-UNDULATION INSTABILITY IN A FERROELECTRIC SMECTIC C," N.A. Clark, Applied Physics Letters **35**, 688-690 (1979).
70. "FREELY SUSPENDED FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL FILMS: ABSOLUTE MEASUREMENTS OF POLARIZATION, ELASTIC CONSTANTS, AND VISCOSITIES," C.Rosenblatt, R. Pindak, N.A. Clark and R.B. Meyer, Physical Review Letters **42**, 220-223 (1979).
71. "ANOMOLOUS AMIDE I INFRARED ABSORPTION OF PURPLE MEMBRANE," K.J. Rothschild and N.A. Clark, Science **204**, 311-312 (1979).
72. "THERMODYNAMICS OF RE-ENTRANT NEMATIC-BILAYER SMECTIC A PHASE TRANSITION," N.A. Clark, Journal de Physique (Supplement C3) **40-C3**, 345-349 (1979).
73. "POLARIZED INFRARED SPECTROSCOPY OF ORIENTED PURPLE MEMBRANE," K.J. Rothschild and N.A. Clark, Biophysical Journal **25**, 473-487 (1979).
74. "SINGLE COLLOIDAL CRYSTALS," N.A. Clark, A.J. Hurd and B.J. Ackerson, Nature **281**, 57-60 (1979).
75. "OBSERVATION OF THE COUPLING OF CONCENTRATION FLUCTUATIONS TO STEADY STATE SHEAR FLOW," N.A. Clark and B.J. Ackerson, Physical Review Letters **44**, 1005-1008 (1980).
76. "TEMPERATURE BEHAVIOR OF FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL THIN FILMS.A CLASSICAL XY SYSTEM," C.Rosenblatt, R.B. Meyer, R.Pindak and N.A. Clark, Physical Review A **21**, 140-146 (1980).
77. "SUBMICROSECOND BISTABLE ELECTRO-OPTIC SWITCHING IN LIQUID CRYSTALS," N.A. Clark and S.T. Lagerwall,

Applied Physics Letters **36**, 899-901 (1980).

78. "MACROSCOPIC ORIENTATION PATTERNS IN SMECTIC C FILMS," R.Pindak, C.Y. Young, R.B. Meyer and N.A. Clark, Physical Review Letters **45**, 1193-1196 (1980).
79. "SPECTROSCOPIC STUDY OF PHOTORECEPTOR MEMBRANE INCORPORATED INTO A MULTILAMELLAR FILM, K.J. Rothschild, N.A. Clark, K.M. Rosen, R.Sanches and T.L. A MULTILAMELLAR FILM," K.J. Rothschild, K.M. Rosen, R.Sanches and T.L. Hsiao, Biophysical and Biochemical Research Communications **92**, 1266-1272 (1980).
80. "INCORPORATION OF PHOTORECEPTOR MEMBRANE INTO A MULTILAMELLAR FILM," K.J. Rothschild, K.M. Rosen and N.A. Clark, Biophysical Journal **31**, 45-52 (1980).
81. "A SPECTROSCOPIC STUDY OF RHODOPSIN ALPHA-HELIX ORIENTATION," K.J. Rothschild, R. Sanches, T.L. Hsiao and N.A. Clark, Biophysical Journal **31**, 53-64 (1980).
82. "SURFACE-INDUCED LAMELLAR ORIENTATION OF MULTILAYER MEMBRANE ARRAYS: THEORETICAL ANALYSIS OF A NEW METHOD WITH APPLICATION TO AND CHOLESTERIC LIQUID CRYSTALS, "N.A. Clark and P.S. Pershan, Physical Review Letters **30**, 3-6 (1973).
83. "BRILLOUIN SCATTERING FROM SMECTIC LIQUID CRYSTALS," Y.Liao, N.A. Clark and P.S. Pershan, Physical Review Letters **30**, 639-641 (1973).
84. "STRAIN INDUCED INSTABILITY OF MONODOMAIN SMECTIC A AND CHOLESTERIC LIQUID CRYSTALS," N.A. Clark and R.B. Meyer, Applied Physics Letters **22**, 493-494 (1973).
85. "CONTINUITY OF FLOW ALIGNMENT PARAMETERS ACROSS THE NEMATIC ISOTROPIC PHASE TRANSITION," N.A. Clark, Physics Letters **46A**, 171-172 (1973).
86. "RAMAN SCATTERING FROM A NEMATIC LIQUID CRYSTAL: ORIENTATION STATISTICS," S.Jen, N.A. Clark, P.S. Pershan and E.B. Priestly, Physical Review Letters **31**, 1552-1556 (1973).
87. "INELASTIC LIGHT SCATTERING FROM DENSITY FLUC-

TUATIONS IN DILUTE GASES I: THE KINETIC-HYDRODYNAMIC TRANSITION IN A MONATOMIC GAS," N.A. Clark, Physical Review A **12**, 232-244 (1975).

88. "INELASTIC LIGHT SCATTERING FROM DENSITY FLUCTUATIONS IN DLLUTE GASES II: NONHYDRODYNAMIC BEHAVIOR OF A BINARY GAS MIXTURE," N.A. CLark, Physical Review A **12**, 2092-2105 (1975).
89. "PREPARATION OF LARGE MONODOMAIN PHOSPHOLIPID BILAYER SMECTIC LIQUID CRYSTALS," L.Powers and N.A. Clark, Proceedings of the National Academy of Science (USA) **72**, (1975) 840-843.
90. "INELASTIC LIGHT SCATTERING FROM ISOTROPIC MBBA," N.A. CLARK AND Y. Liao, Journal of Chemical Physics **63**, 4133-4138 (1975).
91. "COMBINED INTEGRATING THERMAL-PROPORTIONAL SERVICES FOR LONG TERM LASER FREQUENCY STABILIZATION," N.A. Clark, Applied Optics **15**, 1375 (I976).
92. "PRETRANSITIONAL MECHANICAL EFFECTS IN A SMECTIC LIQUID CRYSTAL," N.A. Clark, Physical Review A **14**, 1551-1554 (1976).
93. "FLUORESCENCE DEPOLARIZATION STUDIES OF CHLOROPHYLL IN ORIENTED LIPID MULTILAYERS," R.Bansil, L. Powers and N.A. Clark, Biophysical Journal **16**, 158 a (1976).
94. "POLARIZED RAMAN SCATIERING STUDIES OF ORIENTATIONAL ORDER IN UNIAXIAL LIQUID CRYSTALLINE PHASES," S.Jen, N.A. Clark, P.S. Pershan and E.B. Priestly, Journal of Chemical Physics **66**, 4635-4661 (1977).
95. "PARABOLIC FOCAL CONIC DEFECTS IN THE SMECTIC A PHASE,"C.S. Rosenblatt, R.Pindak, N.A. Clark and R.B.Meyer, Journal de Physique **38**, 1105-1115 (1977).
96. "PRETRANSITION BEHAVIOR NEAR THE RAYLEIGH-BENARD INSTABILITY," N.A. Clark, Bulletin of the American Physical Society 22, 70 (1977).
97. "MODULATORS, LINEAR ARRAYS, AND MATRIX ARRAYS USING FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS, "N.A. Clark, S.T.

Lagerwall and J.Waht Proceedings of the Society for Information Display **26**, 133-140 (1985).

98. "STUDIES OF LOCAL ORDER IN FLUID STATES BY CROSS CORRELATION INTENSTIY FLUCTUATION SPECTROSCOPY," N.A. Clark, B.J. Ackerson and T.W Taylor, Journal de Physique (Supplement C3) 46-C3, 137-147 (1985).
99. "HIGHLY ORIENTED FIBRES OF DISCOTIC LIQUID CRYSTALS, "L.Y. Chiang, C.R. Safinya, N.A. Clark, K.S. Liang and A.N. Bloch, Journal of the Chemical Society, Chemical Communications No. **1744**, 695-696 (1985).
100. "PERSONAL-COMPUTER-BASED PROGRAMMABLE TEMPERATURE CONTROLLER FOR GENERAL LABORATORY APPLICATIONS," J.E. Maclennan, M.R. Meadows, M.A. Handschy and N.A. Clark, Review of Scientific Instruments **56**, 775 (1985).
101. "LASER-INDUCED FREEZING", A. Chowdhury, B.J. Ackerson and N.A. Clark, Physical Review Letters **55**, 833-836 (1985).
102. "SYNCHROTRON X-RAY SCATTERING STUDY OF FREELY SUSPENDED DISCOTIC STRANDS," C.R. Safinya, N.A. Clark, K.S. Liang, W.A. Varady and L.Y. Chiang, Molecular Crystals and Liquid Crystals **123**, 205-216 (1985).
103. "FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS FOR DISPLAYS," S.T. Lagerwall, J.Wahl and N.A. Clark, *Proceedings of the International Display Research Conference of the Institute of Electrical and Eletronic Engineers Group on Electron Devices,* (1985) 213-221.
104. "DISPOSITIF ELECTRO-OPTIQUE A CRISTAUX LIQUIDES CHIRAUX SMECTIQUES C OU H, N.A. Clark and S.T. Lagerwall, Swiss Patent # 647, 337 (1985).
105. NUCLEATION AND GROWTH OF COLLOIDAL CRYSTALS," D.J.W. Aastuen, N.A. Clark, and B.J. Ackerson, Physical Review Letters **57**, 1733 (1986)/
106. "SOLITARY WAVES IN FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS, "J.E. Maclennan, M.A. Handschy and N.A. Clark, Physical Review A **34**, 3554-3557 (1986).
107. "NANOMETER MOLECULAR LITHOGRAPHY," K. Douglas, N.A. Clark and K.J. Rothschild , Applied Physics Letters **48**, 676-678

(1986).

108. "DESIGN AND SYNTHESIS OF A NEW FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL FAMILY. LIQUID CRYSTALS CONTAINING A NONRACEMIC 2-ALKOXY-1-PROPOXY UNIT," D.M. Walba, S.C. Slater, W.N. Thurmes, N.A. Clark, M.A. Handschy and F.Supon, Journal of the American Chemical Society **108**, 5210-5221 (1986).

109 "DESIGN AND SYNTHESIS OF A NEW FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL CONTAINING A NON-RACEMIC 2.3 EPOXY ALCOHOL UNIT," D.M. Walba, R.T. Vohra, N.A. Clark, M.A. Handschy, J-Z.Xue, S.T.Lagerwall and K. Skarp, Journal of the America Chemical Society **108**, 7424-7425 (1986).

110. "STRUCTURES AND APPLICATIONS OF SSFLC DEVICES," N.A. Clark, S.T. Lagerwall, *Proceedings of the Sixth International Display Research Conference of the Society for Information Display*, Tokyo, Japan, (1986) 456-458.

111. "NEUTRON SCATTERING (SANS) FROM CHARGE STABILIZED SUSPENSIONS UNDERGOING SHEAR," B.J. Ackerson, J.B. Hayter, N.A. Clark and L.K. Cotter, Journal or Chemical Physics **84**, 2344-2349 (1986).

112. "DEVICE APPLICATIONS OF FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS," N.A. Clark and M.A. Handschy, Proceedings of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers **625**, 60-61 (1986).

113. "SURFACE STABILIZED FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL DEVICES," N.A. Clark and S.T. Lagerwall, U.S. Patent # **4**, 563, 059 (1986).

114. "STERIC INTERACTIONS IN A MODEL MEMBRANE SYSTEM: A SYNCHROTRON X-RAY STUDY," C.R. Safinya, D.Roux, G.S. Smith, S.K. Sinha, P.Dimon, N.A. Clark and A.M. Bellocq, Physical Review Letters **57**, 2718-2721 (1986).

115. "OPTICAL LOGIC GATES USING FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS," L.A. Pagano-Stauffer, K.M. Johnson, N.A. Clark and M.A. Handschy, Proceedings of the Society of Photo- Optical Instrumentation Engineers **684**, 88 (1986).

116. "FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL AND FAST NEMATIC SPATIAL LIGHT MODULATORS," D.Armitage, J.I. Thackara, N.A. Clark and M.A. Handschy, Proceedings of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers **684**, 60-68 (1986).

117. "ELECTRIC FIELD EFFECTS IN POLYBALL SUSPENSIONS," P.Richetti, J. Prost and N.A. Clark, in *Physics of Complex and Supermolecular Fluids, S.A. Safran and N.A. Clark,* Eds. John Wiley and Sons, New York (1987), 387-412.

118. "DENSITY FLUCTUATION DYNAMICS IN A SCREENED COULOMB COLLOID: COMPARISON OF THE LIQUID AND BCC CRYSTAL PHASES," L.K. Cotter and N.A. Clark, Journal of Chemical Physics **86**, 6616-6621) (1987).

119. "FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL SPATIAL LIGHT MODULATOR," Armitage, J.I. Thackara, N.A. Claark and M.A. Handschy, Molecular Crystals and Liquid Crystals 144, 309-316 (1987).

120. ELECTRO-OPTICAL SWITCHING PROPERTIES OF UNIFORM LAYER TILTED SURFACE STABILIZED FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL DEVICES," J.Z.Xue, M.A. Handschy and N.A. Clark, Liquid Crystals **2**, 707-716 [1987].

121. "COLLOIDAL CRYSTALS," N.A. Clark, *Mc Graw-Hill Encyclopedia of Science and Technology* **4**, (1987) 163-164.

122. "CHEVRON' LOCAL LAYER STRUCTURE IN SURFACE STABILIZED FERROELECTRIC SMECTIC C CELLS," T.P. Rieker, N.A. Clark, Clark, G.S.Smith, D.S. Parmar, E.B. Sirota and C.R. Safinya, Physical Review Letters **59**, 2658-2661 [1987].

123. "ELECTRO-OPTIC RESPONSE DURING SWITCHING OF A FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL CELL WITH UNIFORM DIRECTOR ORIENTATION," J.-Z.Xue, M.A. Handschy and N.A. Clark, Ferroelectrics **73**, 305-314 (1987).

124. "SWITCHING DYNAMICS AND STRUCTURES OF FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS IN THE SURFACE STABILIZED GEOMETRY," J.E. Maclennan and N.A. Clark, Proceedings of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers **822**, 47-51 (1987).

Meadows, Applied Physics Letters 53, 2397-2399 (1988).

125. "DIRECTOR AND LAYER STRUCTURE OF SSFLC CELLS," N.A. Clark, T.P.Rieker and J.E. Maclennan, Ferroelectrics **85**, 79-97 (1988).

126. "MOLECULAR DESIGN OF FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS, "D.M. Walba and N.A. Clark, Ferroelectrics **84**, 65-72 (1988).

127. "DESIGN AND SYNTHESIS OF NEW FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS. 5. PROPERTIES OF SOME CHIRAL FLUORINATED FLCs-A DIRECT CONNECTION BETWEEN MACROSCOPIC PROPERTIES AND ABSOLUTE CONFIGURATION IN A FLUID PHASE," D.M. Walba, H.A. Razavi, N.A. Clark and D.S. Parmar, Journal of the American Chemical Society **110**, 8686-8691 (1988).

128. "METHODS FOR PARALLEL FABRICATION OF NANOMETER SCALE MULTI-DEVICE STRUCTURES," N.A. CLARK, K. Douglas and K.J. Rothschild, U.S. Patent # **4**, 802, 951 (1989).

129. "DEVICE APPLICATIONS OF FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS: IMPORTANCE OF POLARIZATION CHARGE INTERACTIONS," Z.Zhuang, J.E. Maclennan and N.A. Clark, Proceedings of the Society of Photo-optical Instrumentation Engineers **1080**, 110-114 (1989).

130. "ELECTRO-OPTIC SWITCHING DEVICES USING FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS," M.A. Handschy and N.A. Clark, U.S. Patent # **4**, 813771 (1989).

131. " DESIGN AND SYNTHESIS OF NEW FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS 9.AN APPROACH TO CREATION OF ORGANIC POLYMER THIN FILMS WITH CONTROLLED, STABLE POLAR ORIENTATION OF FUNCTIONAL GROUPS," D.M. Walba, P.Keller, D.S. Parmar, N.A. Clark and M.D. Wand, Journal of the American Chemical Society **111**, 8273-8274 (1989).

132. "NOVEL LIQUID-CRYSTAL PHASE-TRANSITION BEHAVIOR AT THE CHIRAL NEMATIC-SMECTIC-A-SMECTIC-C POINT," D.S. Parmar, N.A. Clark, D.M. Walba and M.D. Wand, Physical Review Letters **62**, 2136 -2139 (1989).

133. "ELECTRO-OPTIC SWITCHING USING TOTAL INTERNAL REFLECTION BY A FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL", M.R. Meadows, M.A. Handschy and N.A. Clark, Applied Physics Letters **54**, 1394-1396 (1989).

134. "LAYER AND DIRECTOR STRUCTURE IN SURFACE STABIL IZED FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL CELLS WITH NON-PLANAR BOUNDARY CONDITIONS," T.P. Rieker, N.A. Clark, G.S. Smith and C.R. Safinya, Liquid Crystals **6**, 565-576 (1989).

135. "FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS: THE DEVELOPMENT OF DEVICES," S.T. Lagerwall, N.A. Clark, J.Dijon and J.F. Clerc, Ferroelectrics **94**, 3-62 (1989).

136. "A NOVEL APPLICATION OF THE MOLECULAR RECOGNITION PARADIGM: DESIGN OF FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS," D.M. Walba, .A. Clark, H.A. Razavi, K.F. Eidman, R.C. Haltiwanger and D.S. Parmar, Proceedings of the Society of Photo-optical Instrumentation Engineers **1080**, 115-122 (1989).

137. "RAMAN SCATTERING FROM FREELY SUSPENDED LIQUID CRYSTAL FILMS," D.H. Van Winkle, S.B. Dierker and N.A. Clark, Journal of Chemical Physics 91, 5212-5217 (1989).

138. "EFFECT OF THE TRANSVERSE DIPOLE MOMENT ON THE SMECTIC - A - SMECTIC- C (OR - CHIRAL - SMECTIC - C) TRANSITION, H.Y. Liu, C.C.Huang, T.Min, M.D. Wand, D.M. Walba and N.A. Clark, Physical Review, Rapid Communications **40**, 6759-6762 (1989).

139. "SURFACE STABILIZED FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL DEVICES," N.A. Clark and S.T. Lagerwall, U.S. Patent # **4**, 813, 767 (1989).

140. "SURFACE STABILIZED FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL DEVICES," N.A. Clark and S.T. Lagerwall, U.S. Patent # **4**, 840,463 (1989).

141. "DETERMINATION OF THE COLLOIDAL CRYSTAL NUCLEATION RATE DENSITY,"D.J.W. Aastuen, N.A. Clark, J.C.Swindal and C.D. Muzny, Phase Transitions **21**, 139-155 (1990).

142. "A NOVEL APPLICATION OF THE HOST-GUEST

PARADIGM: DESIGN OF ORGANIC OPTO-ELECTRONIC MATERIALS," D.M.Walba, N.A. Clark, H.A.Razavi and D.S. Parmar, *Inclusion Phenomena and Molecular Recognition,* J.L. Atwood, Ed., Plenum Press, New York, (1990) 81-92.

143. "STATISTICAL GEOMETRY OF SIMPLE LIQUIDS IN TWO DIMENSIONS, "M.A. Glaser and N.A. Clark, Physical Review A **41**, 4585-4588 (1990).

144. "ANISOTROPIC THERMAL-LENS EFFECT IN FERROELECTRIC Ba2NaNb5O15 ATTc," J.F. Scott, S.-J. Sheih, K.R. Furer and N.A. Clark, Physical Review B **41**, 9330-9335 (1990).

145. "ANALOG SIMULATION OF MELTING IN TWO DIMENSIONS," B.Pouligny, R. Malzbender, P.Ryan and N.A. Clark, Physical Review B **42**, 988-991 (1990).

146. "GEOMETRICAL QUASIPARTICLE CONDENSATION MODEL OF MELTING IN TWO DIMENSIONS," M.A. Glaser, N.A. Clark, A.J. Armstrong and P.D. Beale, in *Dynamics and Patterns in Complex Fluids,* M.Doi and A. Onuki, Eds., Springer, New York, 141-152 (1990).

147. "X-RAY STRUCTURAL STUDIES OF FREELY SUSPENDED HYDRATED DMPC MULTI-MEMBRANE FILMS, "G. Smith, E.B. Sirota, C.R. Safinya and N.A Clark, Journal of Chemical Physics **92**, 4519-4529 (1990).

148. "PHYSICAL PROPERTIES AND ALIGNMENT OF A POLYMER-MONOMER FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL MIXTURE," D.S. Parmar, N.A. Clark, P. Keller, D.M. Walba and M.D. Wand, Journal de Physique **51**, 355-368 (1990).

149. "COMPOSITE BIOMOLECULAR/SOLID STATE NANOSTRUCTURES," K. Douglas, N.A. Clark and K.J. Rothschild, Journal of the Materials Research Society **174**, 151-156 (1990).

150. "PROXIMITY EFFECT FOR SCROLLING SPATIAL LIGHT MODULATOR APPLICATIONS OF SURFACE STABILIZED FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL (SSFLC) SWITCHING," R.E. Brooks, N.A. Clark, M.A. Handschy, T.P.Rieker, Applied Physics Letters **56**, 1646-1648 (1990).

151. "DIRECTOR ORIENTATION IN CHEVRON SURFACE-

STABILIZED FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL CELLS: VERIFICATION OF ORIENTATIONAL BINDING AT THE CHEVRON INTERFACE USING VISIBLE POLARIZED LIGHT TRANSMISSION SPECTROSCOPY," J.E. Maclennan, N.A. Clark, M.A. Handschy and M.R.Meadows, Liquid Crystals **7**, 753-785 (1990).

152. "DIRECTOR REORIENTATION DYNAMICS IN CHEVRON FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL CELLS," J.E. Maclennan, M.A. Handschy and N.A. Clark, Liquid Crystals **7**, 787-(1990).
153. "BIOMOLECULAR/SOLID STATE NANOHETEROSTRUCTURES, "K.Douglas, N.A. Clark and K.J. Rothschild, Applied Physics Letters **56**, 692-694 (1990).
154. "SURFACE ELECTROCLINIC EFFECT IN CHIRAL SMECTIC-A LIQUID CRYSTALS," J.Z. Xue and N.A. Clark, Physical Review Letters **64**, 307-310 (1990).
155. "THE STRUCTURE OF ELECTRIC-FIELD-INDUCED LAYER DEFECTS IN SURFACE-STABILIZED FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL DISPLAY CELLS, "P.C.Willis, N.A. Clark and J.-Z.Xue, Proceedings of Society for Information Display International Symposium Digest of Technical Papers XXI, 114-116 (1990).
156. "SURFACE-STABILIZED FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL ELECTRO-OPTIC WAVEGUIDE SWITCH," N.A. Clark and M.A. Handschy, Applied Physics Letters **57**, 1852-54 (1990).
157. "THE TILING STRUCTURE OF SIMPLE LIQUIDS: SQUARES AND TRIANGLES IN TWO DIMENSIONS," M.A. Glaser and N.A. Clark, in *Geometry and Thermodynamics*, P.Toledano and J.C.Toledano, Eds., Plenum, New York, (1990) 193-204.
158. "UNIVERSAL BEHAVIOR IN PHOSPHOLIPID MULTIMEMBRANE SYSTEMS, "E.B. Sirota, C.R. Safinya, G.S. Smith, R. Plano, D.Roux and N.A. Clark, in *Geometry and Thermodynamics*, P. Toledano and J. Toledano, Eds., Plenum, New York, (1990) 255-263.
159. "CHIRAL SMECTIC C OR H LIQUID CRYSTAL ELECTRO-OPTICAL DEVICE, "Japanese Patent # **1,** 555,765 (1990).
160. "FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS DESIGNED FOR ELECTRONIC NONLINEAR OPTICAL APPLICATIONS," D.M. Walba, M.B. Ros, N.A. Clark, R.Shao, K.M.Johnson, M.G.Robinson,

J.Y.Liu and D. Doroski in Materials for Nonlinear Optics: Chemical Perspectives, G.D. Stucky, Ed., American Chemical Society, Washington D.C., (1990) 484-496.

161. "SURFACE STABILIZED FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL DEVICES," N.A. Clark and S.T. Lagerwall, U.S. Patent # 4,958,916 (1990).

162. "OPTICAL SYMMETRY OF FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL CELLS," Z. Zhuang, N.A. Clark, J.E. Maclennan, Japanese Journal of Applied Physics **29**, L2239- L2242 (1990).

163. "EVOLUTION OF THE BOULDER MODEL FOR THE MOLECULAR ORIGINS OF THE POLARIZATION IN FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS," D.M. Walba, H.A. Razavi, A. Horiuchi, K.F. Eidman, B.Otterholm, R.C. Haltiwanger, N.A. Clark, R.F. Shao, D.S Parmar, M.D.Wand and and R.T. Vohra, Ferroelectrics **113**,21-36 (199).

164. "CHEVRON LAYER STRUCTURES IN SURFACE STABILIZED FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL (SSFLC) CELLS FILLED WITH A MATERIAL WHICH EXHIBITS THE CHIRAL NEMATIC TO SMECTIC C* PHASE TRANSITION," T.P. Rieker, N.A. Clark and C.R. Safinya, Ferroelectrics **113**, 245-256 (1991).

165. "THERMAL FLUCTUATION EFFECTS IN FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL POLARIZATION REVERSAL: LIGHT SCATTERING FROM A TRANSIENT DOMAIN WALL FOAM, J.E. Maclennan and N.A. Clark, Physical Review A **44**, 2543-2557 (1991).

166. "TOTAL-INTERNAL-REFLECTION STUDY OF A COLLOIDAL CRYSTAL-CONTAINER WALL INTERFACE," B.Pouligny, D.J.W. Aastuen and N.A. Clark, Physical Review A **44**, 6616-6625 (1991).

167. "LIQUID CRYSTALS WITH A CHIRAL CORE: CYCLOHEXENE CARBOXYLATES," L.Zhong, B.M. Fung, R.J. Twieg, K. Betterton, D.M. Walba, R.F. Shao and N.A. Clark, Molecular Crystals and Liquid Crystals **199**,379-386, (1991).

168. "AN APPROACH TO THE DESIGN OF FERROELECTRIC

LIQUID CRYSTALS WITH LARGE SECOND ORDER ELECTRONIC NONLINEAR OPTICAL SUSCEPTIBILITY," D.M. Walba, M.Blanca Ros, N.A. Clark, R. Shao, K.M. Johnson. M.G. Robinson, I.Y.Liu and D.Doroski, Molecular Crystals and Liquid Crystals **198**, 51-60, (1991).

169. "VISIBLE POLARIZED LIGHT TRANSMISSION SPECTROSCOPY OF ELECTRO-OPTIC SWITCHING BEHAVIOR IN FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL CELLS", Z. Zhuang, N.A.Clark, J.E.Maclennan, Liquid Crystals **10**, 409-417 (1991).

170. "INTRODUCTION TO FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS," N.A. CLARK AND S.T. Lagerwall, in *Ferroelectric Liquid Crystals: Principles, Properties and Applications, J. Goodby. Ed., Gordon and* Breach, New York, (1991) 1-97.

171. "APPLICATIONS OF FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS," N.A. Clark and S.T. Lagerwall, in *Ferroelectric Liquid Crystals: Principles, Properties and Applications,* J.Goodby, Ed., Gordon and Breach, New York, (1991) 409-461.

172. "USE OF THE BOULDER MODEL TO PREDICT COUPLING BETWEEN DIPOLES IN THE CORE AND CHIRAL TALL OF FLUORINATED FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS," M.D. Wand, R. Vohra, D.M. Walba, N.A. Clark and R.Shao. Molecular Crystal and Liquid Crystals **202**, 183-192 (1991).

173. "DYNAMIC BENDING RIGIDITY OF SURFACTANT LAYERS IN SWOLLEN LYOTROPIC LAMELLAR LIQUID CRYSTAL PHASE," S.Mangalampalli, N.A. Clark and J.F. Scott, Physical Review Letters **67**, 2303-2306 (1991).

174. "SCANNING TUNNELING MICROSCOPE SURFACE IMAGING AND ETCHING OF SINGLE CRYSTALS OF THE HIGH TEMPERATURE SUPERCONDUCTOR TI2BA2CuO6+q, "D.C. Parks, J.H. Wang, N.A. Clark and A.M. Hermann, Applied Physics Letters **59**, 1506- 1508 (1991).

175. "EFFECTS OF FINITE LASER COHERENCE IN QUASIELASTIC MULTIPLE SCATTERING," T.Bellini, M.A. Glaser, N.A. Clark and V.Degiorgio, Physical Review A **44**,

5215-5223 (1991).

176. "TOTAL INTERNAL REFLECTION STUDIES OF A FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL-ANISOTROPIC SOLID INTERFACE," Z.Zhuang, N.A. Clark and M.R. Meadows, Proceedings of SPIE - the Society of Photo-optical Instrumentation Engineers **1455**, 105-109 (1991).

177 *Ferroelectrics*, Volumes **121, 122**, Proceedings of the Third International Conference, on Ferroelectric Liquid Crystals, N.A. Clark, D.M. Walba, M.A. Handschy and G.Moddel, Eds. (1991).

178. "IONIC TRANSPORT EFFECTS IN SSFLC CELLS," Z.Zou, N.A. Clark and M.A. Handschy Ferroelectrics **121**, 147-158 (1991).

179. "THE FIELD INDUCED STRIPE TEXTURE IN SURFACE STABILIZED FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL CELLS, "R.F. Shao, P.C. Willis and N.A Clark, Ferroelectrics **121**, 127-136 (1991).

180. "LARGE ELECTROCLINIC EFFECT IN NEW LIQUID CRYSTAL MATERIAL," P.A. Williams, N.A. Clark, M.B. Ros, D.M. Ros, D.M. Walba and M.D. Wand, Ferroelectrics **121**, 143-146 (1991).

181. DESIGN AND SYNTHESIS OF FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS. 15. FLC MATERIALS FOR NONLINEAR OPTICAL APPLICATIONS," D.M. Walba, M.B. Ros, T.Sierra, J.A. Rego, N.A. Clark, R.F. Shao, M.D. Wand, R.T. Vohra, K.E. Arnett and S.P. Velsco, Ferroelectrics **121**, 247-257 (1991).

182. "DIRECTOR STRUCTURES OF A CHIRAL SMECTIC I LIQUID CRYSTAL IN THE SURFACE STABILIZED GEOMETRY," R.Shao, Z. Zhuang and N.A. Clark, Ferroelectrics **122**, 213-220 (1991).

183. "CONFERNCE SUMMARY: THIRD INTERNATIONAL FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL CONFERENCE (FLC 91)," N.A. Clark and D.M. Walba, Condensed Matter News **1**.No. 2,5 (1991).

184. "CONFERENCE SUMMARY: THIRD INTERNATIONAL FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL CONFERENCE (FLC91), N.A. Clark and D.M. Walba, Liquid Crystals Today **1**, No. 3,4

(1991).

185. "DESIGN AND SYNTHESIS OF NEW FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS. 14. AN APPROACH TO THE STEREOCONTROLLED SYNTHESIS OF POLAR ORGANIC THIN FILMS FOR NONLINEAR OPTICAL APPLICATIONS," D.M. Walba, M.B. Ros, N.A. Clark, R.F. Shao, M.G. Robinson, J.Y. Liu, K.M. Johnson and D.Doroski, Journal of American Chemical Society **113**, 5471-5474 (1991).

186. "THE MEASUREMENT OF SECOND HARMONIC GENERATION IN NOVEL FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL MATERIALS", J.Y. Liu, M.G. Robinson, K.M. Johnson, D.M. Walba, M. Blanca Ros, N.A. Clark, R.F. Shao and D.Doroski, Journal of Applied Physics **70**, 3426-3430 (1991).

187. "THE LAYER AND DIRECTOR STRUCTURES OF FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS," T.P. Rieker and N.A. Clark, in *Phase Transitions in Liquid Crystals,* S. Martellucci, Ed., Plenum, New York, (1992) 287-342.

188. "SURFACE STABILIZED FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL DEVICES," N.A. Clark and S.T. Lagerwall, Patent # **5**,083,855 (1992).

189. "ORIENTATIONAL PLASTICITY AT A SMECTIC-LIQUID CRYSTAL-ANISOTROPIC-SOLID INTERFACE," Z.Zhuang, N.A. Clark and M.R. Meadows, Physical Review A; Rapid Communications **45**, 6981-6984 (1992).

190. "MOLECULAR DIRECTOR AND LAYER RESPONSE OF CHEVRON SURFACE STABILIZED FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS TO LOW ELECTRIC FIELD," P.C. Willis, N.A. Clark and C.R. Safinya, Liquid Crystals **11**, 581-592 (1992).

191. DIRECTOR-POLARIZATION REORIENTATION VIA SOLITARY WAVES IN FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS," I.Abdulhalim, G.Moddel and N.A. Clark, Applied Physics Letters **60**, 551-553 (1992).

192. "DIRECT OBSERVATIONS OF THE BROWNIAN MOTION OF A LIQUID CRYSTAL TOPOLOGICAL DEFECT," C.D. Muzny and N.A. Clark, Physical Review Letters **68**, 804-807 (1992).

193. "SOLITARY WAVES IN FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS," J.E. Maclennan, N.A. Clark and M.A. Handschy in *Solitons Liquid Crystals,* L.Lam and J.Prost, Eds., Springer, New York, (1992) 151-190.

194. "TRANSFER OF BIOLOGICALLY-DERIVED NANOMETER-SCALE PATTERNS TO SMOOTH SUBSTRATES, "K. Douglas, G.Devaud and N.A. Clark, Science **257**,642-644 (1992).

195. "CONTROL OF GAS PERMEATION VIA ELECTROHYDRODYNAMIC CONVECTION IN A LIQUID CRYSTAL MEMBRANE," C.Wan R.D. Noble and N.A. Clark, Journal of Membrane Science **74**, 223-231 (1992).

196. "THEORY OF EVANESCENT LIGHT WAVE SCATTERING AT THE SOLID-NEMATIC INTERFACE," M. Copic, C.S. Park and N.A Clark, Molecular Crystals and Liquid Crystals **222**, 111-118 (1992).

197. "LOCAL LAYER STRUCTURE OF THE STEEP FIELD LINE DEFECT IN SURFACE-STABILIZED FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL CELLS," P.C. Willis, N.A. Clark, J.-Z. Xue and C.R. Safinya, Liquid Crystals **12**, 891-904 (1992).

198. "PHASE BEHAVIOR OF THE LIQUID CRYSTAL 8CB IN A SILICA AEROGEL", T.G. BELLINI, N.A. CLARK, L.WU, C.W. GARLAND, D.W. SCHAEFER AND B.J. Olivier, Physical Review Letters **69**, 788-791 (1992).

199. "STRING DEFECTS IN FREELY SUSPENDED LIQUID CRYSTAL FILMS," J.Z. PANG, C.D. Muzny and N.A. Clark Physical Review Letters **69**, 2783-2786 (1992).

200. "NANOSTRUCTURE FABRICATION USING BIOMOLECULAR TEMPLATES," K. Douglas, G.Devaud, M.K. Lyon and N.A. Clark, in *Physics and Chemistry of Finite Systems: from Clusters to Crystals* Vol II, P. Jena, S.N. Khanna and B.K. Rao, Eds. Kluwer Academic, Dordrecht, (1992) 1183-1191.

201. "X-RAY DIFFRACTION STUDIES OF TUBULES FORMED FROM A DIACETYLENIC PHOSPHOCHOLINE LIPID," B. Thomas, C.R. Safinya, R.j. Plano, N.A. Clark, B.R. Ratna and R. Shashidhar, Materials Research Society Symposium Proceedings **248**,

83-87 (1992).

202. "APPLICATIONS OF LIQUID CRYSTALS IN OPTICAL COMPUTING," N.A. Clark and K.M. Johnson in *Liquid Crystals: Applications and Uses, Vol.* 3. Bahadur, Ed., World Scientific, Canada, (1992) 209-252.

203. "COLLOIDAL CRYSTALS," N.A. CLark *McGraw-Hill Encyclopedia of Science and Technology* **4**, 7 th ed. (1992) 148-150.

204. "SURFACE STABILIZED FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL SWITCHING USING PROXIMITY EFFECTS," N.A. Clark and M.A. Handschy, U.S. Patent # **5**,103,329 (1992).

205. ELECTRO-OPTIC SWITCHING DEVICES USING FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS," M.A. Handschy and N.A. Clark, Canadian Patent # **1,299**,721 (1992).

206. "STUDIES ON FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL TOLAN DERIVATIVES DESIGNED FOR NONLINEAR OPTICAL APPLICATIONS," D.M. Walba, J.A. Rego, N.A. Clark and R.F. Shao, Materials Research Society Symposium Proceedings **277**, 205-216 (1992).

207. "SURFACE STABILIZED FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL DEVICES," N.A. Clark and S.T. Lagerwall, U.S. Patent # **5**,225,905 (1993).

208. "STRUCTURE OF 2-PHENYLACETOPHENONE," T.P Rieker, C.Haltiwanger, K.Eidman, D.W. Walba, N.A. Clark, and A.C. Larson, Acta Crystallographica **C49**, 406-408 (1993).

209. "X-RAY SCATTERING STUDY OF SMECTIC ORDERING IN A SILICA AEROGEL," N.A. Clark, T.G. Bellini, R.M. Malzbender, B. Thomas, A.G. Rappaport, C.D. Muzny, D.W. Schaefer, and L. Hrubesh, Physical Review Letters **71**, 3505-3508 (1993).

210. "STROBOSCOPIC MICROSCOPY OF FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS," J.Xue and N.A. Clark, Physical Review E **48**,2043- 2054 (1993).

211. "MELTING AND LIQUID STRUCTURE IN TWO DIMENSIONS," M.A. Glaser and N.A. Clark, in *Advances in Chemical Physics,* Vol. LXXXIII, I.Prigogine and S.A. Rice, eds., John Wiley & Sons, Inc., (1993) 543-709.

212. "THE MOUNTAIN DEFECT: A NEW KIND OF PLANAR DEFECT IN SURFACE STABILIZED SMECTIC C LIQUID CRYSTAL CELLS," Z.Zhuang, A.G.Rappaport and N.A. Clark, Liquid Crystals **15**, 417-427 (1993).

213. "SCANNING TUNNELING MICROSCOPY OF COEXISTING 2D CRYSTALLINE 1D STACKING DISORDERED PHASES AT THE CHIRAL LIQUID CRYSTAL-GRAPHITE INTERFACE," D.C. Parks, N.A. Clark, D.M. Walba and P.D. Beale, Physical Review Letters **70**,607-611 (1993).

214. "BACKFLOW EFFECTS IN SSFLC SWITCHING," Z.Zou, N.A. Clark and T.Carlsson, Liquid Crystal Materials, Devices and Applications II, U.Efron and M.D. Wand, eds., Proceedings of SPIE-the Society of Photo-optical Instrumentation Engineers **1911**, 77-86 (1993).

215. "SHEAR-INDUCED MELTING OF TWO-DIMENSIONAL SOLIDS," T.Weider, M.A. Glaser, H.J.M. Hanley and N.A. Clark, Physical Review B **47**, 5622-5628 (1993).

216. "STUDIES OF THE HIGHER ORDER SMECTIC PHASE OF THE LARGE ELECTROCLINIC EFFECT MATERIAL W317," P.A. Williams, L.Komitov, A.G. Rappaport, B.N Thomas, N.A. Clark, D.M. Walba and G.W. Day, Liquid Crystals **14**, 1095-1105 (1993).

217. "ARE SHORT-PITCH BISTABLE FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL CELLS SURFACE STABILIZED?" R. Shao, Z.Zhuang, and N.A. Clark, Liquid Crystals **14**, 1079-1086 (1993).

218. "USE OF POLAR SOLVENTS IN AN ELECTROCONVECTIVE LIQUID MEMBRANE FOR GAS SEPARATION," C. Wan, R.D. Noble, and N.A. Clark Journal of Membrane Science **84**, 191-196 (1993).

219. THEORETICAL STUDIES OF THE INFLUENCE OF BACKFLOW ON THE DYNAMICAL BEHAVIOUR OF A FREDERICKS TRANSITION OF A FERROELECTRIC SMECTIC C * LIQUID CRYSTAL IN THE BOOKSHELF GEOMETRY," T. Carlsson, N.A. Clark, and Z.Zou, Liquid Crystals **4**, 461-477 (1993).

220. "ELECTRIC FIELD INDUCED TRANSITIONS FROM TGBA *

AND TGBC* SMECTIEC A * AND C* STATES," R.Shao, J. Pang, N.A. Clark, J.A. Rego, and D.M. Walba, Ferroelectrics **147**, 255-262 (1993).

221. "HIGH PERFORMANCE ELECTROCLINIC MATERIALS," D.M. Walba, D.J. Dyer, R. Shao, N.A. Clark, and M.D. Wand Ferroelectrics **147**, 435-442 (1993).

222. "DYNAMIC BEHAVIOR AT A NEMATIC LIQUID CRYSTAL-RUBBED NYLON INTERFACE USING EVANESCENT WAVE PHOTON CORRELATION SPECTROSCOPY," C.S. Park, M. Copic, R.Mahmood, and N.A. Clark, Liquid Crystals **16**, 135-142 (1994).

223. "INFLUENCE OF BACKFLOW ON THE REORIENTATION DYNAMICS OF FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS," Z.Zou, N.A. Clark and T.Carlsson, Physical Review E 49, 3021-3030 (1994).

224. "THEORY OF ORIENTATIONAL MODES AT A NEMATIC-SOLID INTERFACE: WHEN DO SURFACE MODES APPEAR?" M.Copic, N.A. Clark, Liquid Crystals **17**, 149-155 (1994).

225. "SOLITON SWITCHING IN FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS AND THEIR TRANSIENT ELECTRO - OPTIC RESPONSENT," I. Abdulhalim, G.Moddel, and N.A. Clark, Journal of Applied Physics **76**, 820-831 (1994).

226. "THXTURES IN HEXATIC FILMS OF NON-CHIRAL LIQUID CRYSTAL: SYMMETRY BREAKING AND MODULATED PHASES," J.E. Maclennan, U.Sohling, N.A. Clark, and M. Seul, Physical Review E **49**, 3207-3224 (1994).

227. "GLANT FIELD-INDUCED DEFORMATION OF NEMATIC AND ISOTROPIC LIQUID CRYSTAL DROPS," C.S. Park, N.A. Clark, and R.D. Noble, Physical Review Letters **72**, 1838-1841 (1994).

228. "THEORY OF CHIRAL-RACEMIC MIXTURES NEAR THE SMECTIC C-SMECTIC A TRANSITION POINT: DEPENDENCE OF SPONTANEOUS POLARIZATION AND TRANSITION TEMPERATURE ON ENANTIOMETRIC EXCESS," V.V. Ginzburg, R. Shao, N.A. Clark, and D.M. Walba, Proceedings of

SPIE- the Society of Photo-optical Instrumentation Engineers **2175**, 102-107 (1994).

229. "BIOLOGICALLY DERIVED NANOMETER-SCALE PATTERNING ON CHEMICALLY MODIFIED SILICON SURFACES," B.W. Holland, K.Douglas, and N.A. Clark, Materials Research Society Symposium Proceedings **328**, 121-126 (1994).

230. "ATOMIC-DETAIL SIMULATION STUDIES OF TILTED SMECTICS," M.A. Glaser R. Malzbender, N.A. Clark, and D.M. Walba, Journal of Physics: Condensed Matter **6**, A261-A268 (1994).

231. "OBSERVATION OF A CHIRAL-SYMMETRY-BREAKING TWIST-BEND INSTABILITY IN ACHIRAL FREELY SUSPENDED LIQUID CRYSTAL FILMS," J.Pang and N.A. Clark, Physical Review Letters **73**, 2332-2335 (1994).

232. DYNAMIC LIGHT SCATTERING STUDY OF NEMATIC AND SMECTIC A LIQUID CRYSTAL ORDERING IN SILICA AEROGEL, "T. Bellini, N.A. Clark, and D.W. Schaefer, Physical Review Letters **74**, 2740-2743 (1995).

233. "AMACROSCOPIC THEORY FOR THE FLOW BEHAVIOUR OF SmC AND SmC* LIQUID CRYSTALS," T. Carlsson, F.M. Leslie, and N.A. Clark, Liquid Crystals **ZZ**, zz-zz (1995).

234. "CONTINUED STUDIES OF AN ELECTROCONVECTIVE LIQUID MEMBRANE FOR GAS SEPARATION," J.G. Collins, R.D. Noble, C.S. Park, and N.A. Clark (1994), Journal of Membrane Science **99**, 249-257 (1995).

235. "FLOW COUPLED SWITCHING EQUATIONS FOR SURFACE STABILIZED FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL CELLS," Z.Zou, N.A. Clark, and T. Carlsson, Japanese Journal of Applied Physics **34**, 560-565 (1995).

236. "ANNIHILATION RATE AND SCALING IN A TWO-DIMENSIONAL SYSTEM OF CHARGED PARTICLES," W.G. Jang, V.V. Ginzburg, C.D. Muzny, and N.A. Clark, Physical Review E **51**, 411-417 (1995).

237. "DYNAMIC BEHAVIOR OF OSCILLATORY PLASTIC FLOW IN A SMECTIC LIQUID CRYSTAL," R.Herke, N.A. Clark, and .A. Handschy, Physical Review E**ZZ**, zz-zz (1995).

238. "STATISTICS OF LOCAL ORDER IN TWO DIMENSIONAL LIQUIDS: THE GEOMETRICAL DEFECT CONDENSATE

CONTROLS THE STATISTICS OF LOCAL ORDER IN A TWO DIMENSIONAL LIQUID, "M.A. Glaser and N.A. Clark, Science **ZZ**, zz-zz (1995).

239. "PREPARATION OF SELF-ASSEMBLED MONOLAYERS ON FLOAT GLASS USING TRIALKOXYSILANES," D.M. Walba, C.A. Liberko, K.Douglas, S.D. Williams, A.F. Klittnick, and N.A. Clark, Chemistry of Materials **ZZ**, zz-zz (1995).

240. "PUMPING LIQUID CRYSTALS," Z.Zou and N.A. Clark, Physical Review Letters **ZZ**, zz-zz (1995)

241. "LIPID TUBULE SELF-ASSEMBLY: LENGTH DEPENDENCE ON COOLING RATE THROUGH A FIRST ORDER PHASE TRANSITION," B. Thomas, C.Safinya, R.Plano, and N.A. Clark, Science **267**, 1635-1638 (1995).

242. "STRESS-INDUCED VORTEX LINE HELIXING AVALANCHES IN THE PLASTIC FLOW A SMECTIC A LIQUID CRYSTAL," R. Herke, N.A. Clark, and M. Handschy, Science **267**, 651-654 (1995).

243. NEAR-ATOMIC RESOLUTION IMAGING OF FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL MOLECULES ON GRAPHITE BY STM", D.Walba, F. Stevens, D. Parks, N.A. Clark, Science **267**, 1144-1147 (1995).

244. "ATOMIC-DETAIL SIMULATION STUDIES OF SMECTIC LIQUID CRYSTALS," M.A. Glaser, R. Malzbender, N.A. Clark, and D.M. Walba, Molecular Simulation **ZZ**, zz-zz (1995).

245. "COMBINED INFLUENCE OF X-RAYS AND ELECTRIC FIELDS ON SMECTIC LAYERS IN ZLI 3554 SSFLC CELLS," P.C. Willis, W.J.A.M. Hartmann, N.A. Clark, A. Rappaport, B. Thomas and C.R, Safinya, Liquid Crystals **ZZ**, zz-zz (1995).

246. "NUMERICAL SIMULATION OF NANOPATTERN FORMATION FROM PROTEIN CRYSTAL MASKS: MODELING BY CURVATURE DEPENDENTION MILLNG AND SURFACE SELF-DIFFUSION," T.A. Winningham, Z.Zou, R. Weekley, K. Douglas, and N.A. Clark, Science **257,** 642 (1992).

247. "8CB POROUS GLASSES: A DNMR AND SPECIFIC HEAT STUDY," G. Iannacchione, C, Yeager, D.Finotello, A.Rappaport, N.A. Clark, and F.Aliev, Physical Review Letters **71**, 295 (1993).

رقم الإيداع : ٣٠٧٥ / ٩٨

مطابع المكتب المصرى الحديث
MODERN EGYPTIAN PRESS
ت : ٢٢١١٠٧١ - ٢٢١١٠٧٢ - فاكس ٢٢١١٠٧٣